www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

15e JAARGANG No. 3, blz. 73-104 MAART 1953

# Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

## BEREIDEN EN GIETEN VAN METALEN EN LEGERINGEN IN EEN HOOGVACUUM

door J. D. FAST, A. I. LUTEIJN en E. OVERBOSCH. 669.04:621.365.52

*De auteurs beschrijven een methode volgens welke metalen en legeringen van uiterste zuiverheid resp. van scherp gedefinieerde samenstelling kunnen worden bereid, in een vorm die zich goed leent voor de verdere verwerking tot proefstukken of tot onderdelen van producten. De hoge mate van zuiverheid blijkt uit de chemische analyses, maar ook uit de, soms frappante, physische eigenschappen van deze materialen.*

### Inleiding

Bij het fundamentele onderzoek van metalen en legeringen en bij de vormgeving en de toepassing daarvan stuit men vaak op moeilijkheden, die in vele gevallen berusten op de in technische metalen en legeringen steeds in wisselende gehalten aanwezige verontreinigingen. Speciaal de zg. structuurgevoelige eigenschappen der metalen worden in sterke mate door de aard, de hoeveelheid en de verdeling der verontreinigingen beïnvloed. Van de mechanische eigenschappen behoren o.a. de treksterkte en de plastische vervormbaarheid, van de magnetische eigenschappen de permeabiliteit, de coërcitiefkracht en de hysteresisverliezen tot de structuurgevoelige eigenschappen. Om te weten te komen welke waarden deze grootheden in het optimale geval kunnen bereiken, moet men de metalen en legeringen in zeer zuivere toestand kunnen bereiden en tevens moet men in staat zijn er verontreinigingen [1]) in elk gewenst percentage aan toe te voegen. Door aldus met legeringen van nauwkeurig bekende samenstelling te werken, kan men ook inlichtingen krijgen over de practisch belangrijke vraag welke verontreinigingen vooral vermeden dienen te worden en welke invloed eventuele afwijkingen van de voorgeschreven percentages der hoofdbestanddelen hebben. Onderzoekt men dit laatste aan technische legeringen, dan gaat de gezochte afhankelijkheid vaak geheel schuil onder de invloed van schommelingen in de percentages der verontreinigingen.

Enkele jaren geleden werd in dit tijdschrift een toestel beschreven dat het mogelijk maakte metalen en legeringen van nauwkeurig bekende samenstelling te bereiden door smelten in een vacuum met behulp van hoogfrequentieverhitting [2]). Het onderhavige artikel handelt over een verbeterd toestel, waarin een legering onmiddellijk na de bereiding, onder handhaving van het goede vacuum, in een vorm kan worden gegoten. Er waren twee belangrijke redenen om het toestel in deze zin uit te bouwen. Beide hangen samen met de verdere verwerking van het te bereiden metaal. Wil men dit voor een bepaalde constructie gebruiken of wil men er metingen aan kunnen verrichten, dan moet het in een geschikte vorm worden gebracht. Men moet dus nog verschillende bewerkingen, als smeden, walsen, hameren en draadtrekken toepassen. Hierbij bestaat de kans dat weer ongecontroleerde veront-

[1]) Gewoonlijk wordt het woord verontreiniging opgevat als synoniem van „schadelijk bestanddeel"; in dit artikel willen wij er de veel ruimere betekenis aan toekennen van „legeringsbestanddeel van gering percentage", zonder evenwel een scherpe grens voor dit percentage te willen vastleggen. Wij kiezen deze ruimere definitie, omdat het niet bij voorbaat vaststaat dat elk bijmengsel een schadelijke invloed heeft, en omdat er gevallen zijn waarin een en dezelfde „verontreiniging" op bepaalde eigenschappen van een legering een ongunstige en op andere eigenschappen van dezelfde legering een gunstige invloed heeft. — Er zij hier ook nog op gewezen dat wij kortheidshalve op vele plaatsen één der woorden metaal of legering gebruiken waar beide bedoeld zijn. Trouwens, strikt genomen is elk metaal een legering, aangezien er geen volkomen zuivere metalen bestaan.

[2]) J. D. Fast, Een toestel voor het bereiden van metalen met een nauwkeurig bekend gehalte aan verontreinigingen, Philips techn. T. **11**, 244-247, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



reinigingen in het materiaal worden gebracht. Zijn de mechanische eigenschappen van de legering zodanig dat de genoemde bewerkingen bij kamertemperatuur kunnen worden uitgevoerd, dan is de kans op introductie van verontreinigingen gering: de verontreiniging van de legering beperkt zich dan tot een zeer dunne buitenhuid, welke langs mechanische of chemische weg kan worden verwijderd. Zijn de mechanische eigenschappen echter zodanig dat de bewerkingen bij hoge temperaturen moeten worden uitgevoerd, dan kunnen de verontreinigingen veel dieper in de legering doordringen. Vooral de opneming van elementen met kleine en snel diffunderende atomen (waterstof, koolstof, stikstof) moet hierbij worden gevreesd. Speciaal voor legeringen die minder gemakkelijk te vervormen zijn, is het dus van belang dat ze door gieten in het hoogvacuumapparaat reeds in een zodanige vorm kunnen worden gebracht dat slechts weinig bewerkingen nodig zijn om de gewenste eindvorm te bereiken. Tevens heeft men, en dit is de tweede reden om tot gieten over te gaan, bij het gegoten metaal veel minder kans op het optreden van holten dan bij metaal dat in de smeltkroes is gestold. Zulke holten kunnen optreden doordat bij de overgang van de vloeibare in de vaste toestand in de regel een vrij aanzienlijke volumevermindering plaatsvindt, en doordat bij geleidelijke afkoeling nog vrij lang vloeibare gedeelten binnen in het metaal aanwezig blijven terwijl het metaal aan de buitenzijde reeds gestold is. Bij gieten in een geschikte vorm kan men dit verschijnsel meestal vermijden, zoals uit hetgeen volgt nog duidelijk zal worden.

Dank zij de ervaring opgedaan met het vroegere zowel als met het nieuwe toestel, is het thans mogelijk een wat meer afgerond beeld te geven van de methodes voor het bereiden van goed gedefinieerde legeringen.

Het artikel zal worden besloten met enkele voorbeelden ter demonstratie van de verkregen resultaten.

## Beschrijving van het toestel

*Fig. 1* toont een foto van het volledige smelttoestel, met de hoogfrequentiegenerator rechts en de smelttafel links. Op de smelttafel onderscheidt men duidelijk twee smeltklokken, elk met een eigen hoogfrequentiespoel. De pompen, met behulp waarvan de smeltklokken tot een einddruk van $10^{-5}$ mm kwik kunnen worden geëvacueerd, bevinden zich onder de tafel. Het zijn een oliediffusiepomp (capaciteit 500 liter per seconde) en een olierotatiepomp als voorpomp. Op de tafel ziet men duidelijk de grote metalen kranen en de wijde buizen, die de verbinding tussen pompen en smeltklokken tot stand brengen.

*Fig. 2* geeft een schematische tekening van één der smeltklokken. De eigenlijke smeltruimte ligt binnen een glazen cylinder (*1*) van „Pyrex" glas, welke tijdens het smelten met behulp van stromend water in een mantel (*2*) wordt gekoeld. Terwijl de invloed van de atmosfeer op het gesmolten metaal reeds is uitgeschakeld doordat het smelten plaatsvindt in een vacuum, wordt door het koelen van de wand ook de invloed van gassen die uit de wanden zouden kunnen vrijkomen vrijwel geheel uitgesloten.

Het hart van de smeltklok wordt gevormd door de smeltkroes (*6*), waarin zich het te smelten metaal bevindt. De werkspoel (*5*), die het voor het smelten vereiste magnetische wisselveld opwekt, bestaat uit een schroeflijnvormige koperen buis, die tijdens het gebruik door stromend water koel gehouden wordt. Doordat de spoel buiten de smeltruimte is aangebracht, kan met een wisselstroom van zeer hoge frequentie worden gewerkt (300 kHz) hetgeen de beknoptheid van de installatie zeer ten goede komt [3]). De in de te smelten metalen ontwikkelde warmte ontstaat in hoofdzaak door de opgewekte wervelstromen; bij ferromagnetische metalen (ijzer, nikkel, cobalt) leveren beneden het curiepunt ook de hysteresisverliezen een bijdrage.

De smeltkroes staat op een doorboorde vuurvaste steen in een kwartskroes, die op zijn beurt op een wijde kwartsbuis (*8*) staat, welke met behulp van enkele veren in de zware metalen drager *4* is vastgeklemd. De ruimte tussen beide kroezen is met kleine stukjes van reeds gebruikte smeltkroezen opgevuld. Beide kroezen hebben een gat in de bodem. Het gat in de bodem van de smeltkroes is tijdens het smelten afgesloten met een lange, aan de onderzijde zwak conisch geslepen, keramische buis (*7*) uit hetzelfde materiaal als de gebruikte smeltkroes. Is het ogenblik van gieten aangebroken, dan wordt deze keramische buis omhoog getrokken zodat de opening in de bodem van de smeltkroes vrijkomt. Hierdoor stroomt de gesmolten legering uit in een metalen coquille (*11*).

Het omhoog trekken van de buis *7* geschiedt door bekrachtiging van een magneetspoel (*10*). Hierdoor wordt een ferromagnetisch lichaam waaraan de buis is opgehangen in de spoel getrokken. De keramische buis *7* mag niet rechtstreeks aan het ferromagnetische lichaam zijn bevestigd, daar ze dan, vooral bij hoge temperaturen van de smelt, licht stukge-

[3]) Het plaatsen van de werkspoel in de smeltruimte — welke plaatsing bij andere installaties wel is toegepast om het gehele smelttoestel voor een gieting te kunnen kantelen — zou bij de door ons toegepaste lage gasdrukken en de genoemde hoge frequenties tot gasontladingen tussen de windingen van de spoel leiden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



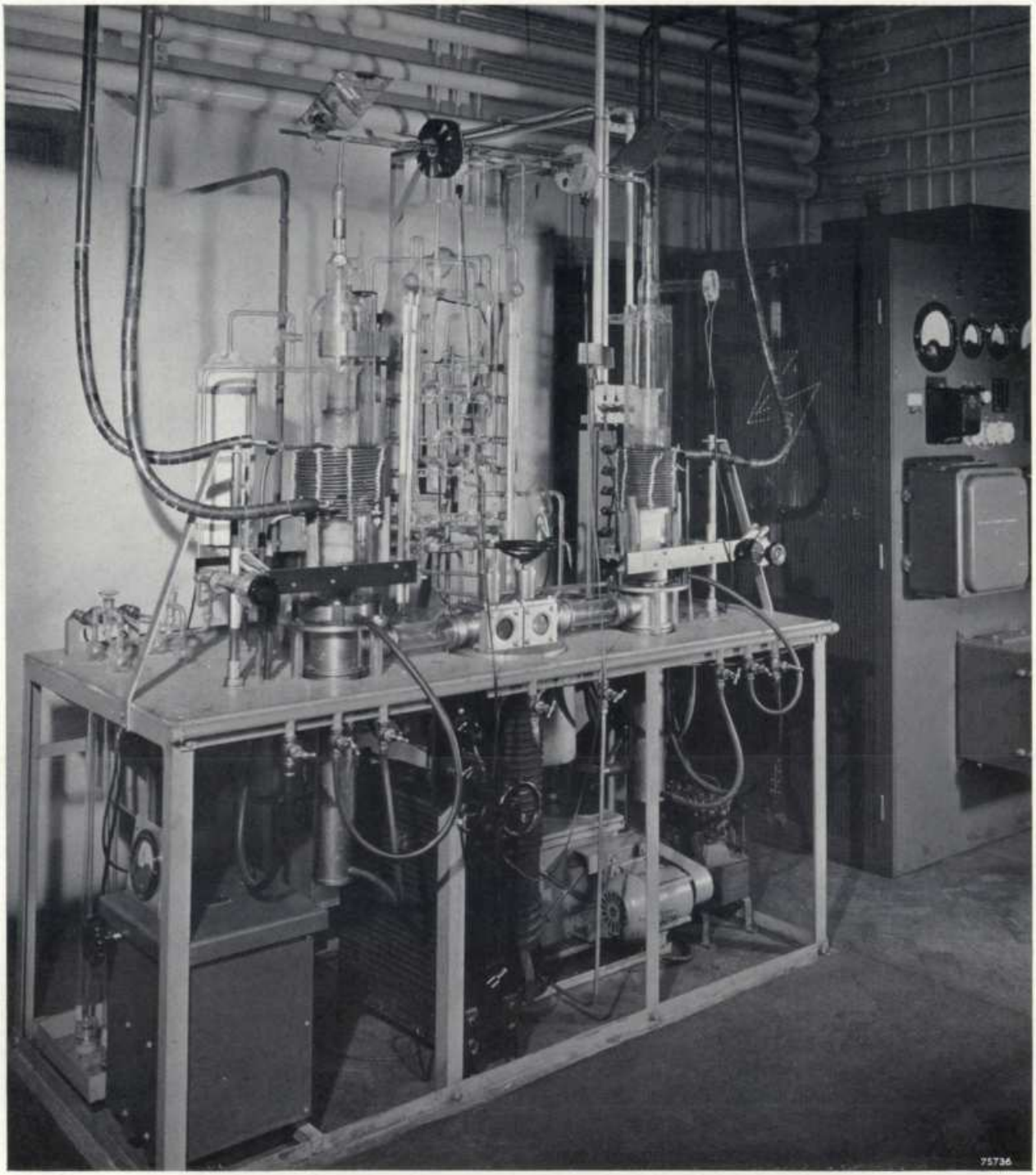



Fig. 1. Smelttafel met twee smeltklokken voor het smelten en gieten van legeringen in een hoogvacuum. Men ziet om elke smeltklok de werkspoel voor de hoogfrequente stroom. Rechts op de achtergrond de hoogfrequentiegenerator (300 kHz, 25 kW). Onder de tafel zijn de hoogvacuumpomp en de roterende voorpomp opgesteld. Op de tafel, achter de smeltklokken, ziet men de apparatuur welke dient om bepaalde zeer zuivere gassen (waterstof, argon, zuurstof, stikstof) aan de smeltklokken te kunnen toevoeren. Boven de smeltklokken zijn spiegels aangebracht, waardoor men gemakkelijk het smelten in de kroezen kan gadeslaan.

trokken zou worden. De trek op de keramische buis wordt daarom overgebracht door een aan het ferromagnetische lichaam bevestigde molybdeniumstaaf (*9*), die in de buis is vastgeklemd met behulp van carborundumkorreltjes.

De reeds genoemde coquille (*11*) bestaat uit een zwak conische koperen buis, die aan de onderzijde met behulp van een moer en een geschikte kit vacuumdicht is afgesloten en die aan de bovenzijde sterk conisch is verwijd en ten slotte in een flens uitloopt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Deze flens, waarmee de coquille via afsluitringen van rubber vacuumdicht aan het toestel wordt verbonden, rust op de gootvormig uitgevoerde bovenrand van het metalen huis (*12*). Door het huis en de gootvormige rand stroomt water, waardoor de coquille en de afsluitringen zeer effectief worden gekoeld.

Mede aan deze sterke koeling van de coquille is het te danken dat, althans bij een coquille van de eenvoudige vorm *11*, de contractie van het metaal bij het stollen niet tot het ontstaan van inwendige holten leidt. Immers, het stollen vindt van onder naar boven plaats en er vormt zich door de contractie alleen een zg. lunker, dat is een trechtervormige kuil in de kop (het laatst gestolde gedeelte) van de gieteling. De hoeveelheid te gieten legering kan zodanig worden gekozen dat de lunker zich geheel in de conische gietkop bevindt, zodat de eigenlijke staaf over de gehele lengte massief is.

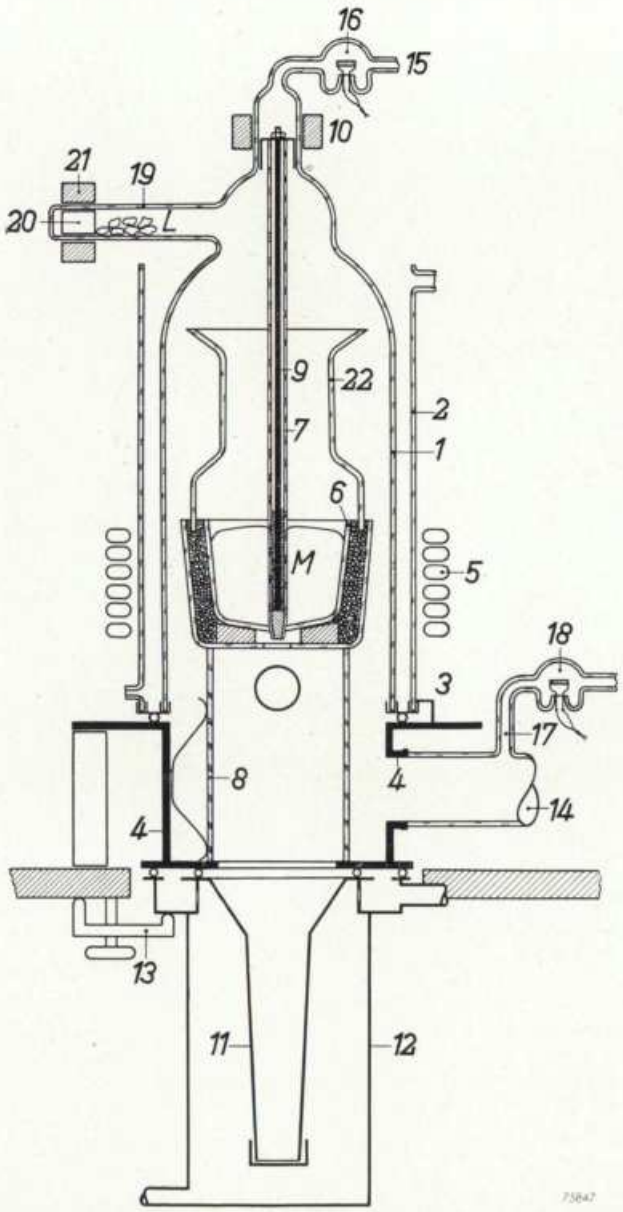



Fig. 2. Schematische doorsnede van een der smeltklokken (niet op schaal getekend). De klok *1* van „Pyrex" glas wordt gekoeld met stromend water in de glazen mantel *2* en geëvacueerd via de pompleiding *14*. Het te smelten metaal *M* bevindt zich in de smeltkroes *6* en wordt door de hoogfrequente stroom in de werkspoel *5* verhit. Is het metaal gesmolten en gezuiverd, en zijn er eventuele legeringsbestanddelen *L* uit de zijbuis *19* aan toegevoegd (door verschuiven van het ferromagnetische „zuigertje" *20* met behulp van de verplaatsbare magneetspoel *21*), dan trekt men door bekrachtiging van de spoel *10* de afsluiter *7* omhoog. Het gesmolten metaal stroomt dan door het gat in de bodem van de smeltkroes in de gietvorm *11*, die door stromend water in het huis *12* wordt gekoeld.

Enkele bijzonderheden van de constructie: De klok *1* en mantel *2* zijn door middel van een gietbare vacuumkit bevestigd aan de metalen ring *3* met concentrische opstaande randen. Deze ring wordt door een drietal klemmen op de drager *4* van het gehele smelttoestel gedrukt, waarbij een ronde, met vacuumvet ingesmeerde rubberring in een groef van *4* voor de vacuumdichte afsluiting zorgt. De smeltkroes *6* staat op een doorboorde vuurvaste steen in een kwartskroes (de tussenruimte is met resten van gebruikte smeltkroezen gevuld), die op zijn beurt op een wijde kwartsbuis *8* staat, welke met behulp van enkele veren in de drager *4* is vastgeklemd. De van een keramische buis gemaakte afsluiter *7* is niet rechtstreeks aan het ferromagnetische lichaam in de spoel *10* bevestigd, doch wordt gedragen door de molybdeniumstaaf *9*, die erin is vastgeklemd door carborundumkorrels. Het metalen huis *12*, waar de gietvorm *11* in is gezet, wordt door aanschroeven van drie klemmen *13* tegen de drager *4* gedrukt, waarbij twee rubberringen zorgen voor de vacuumdichte aansluiting van de gietvorm en de waterdichte aansluiting van het huis. Via de toevoerbuis *15* kunnen diverse gassen tot de klok worden toegelaten, die via de op de voorpomp aan te sluiten zijbuis *17* weer kunnen worden verwijderd. Door de indicatorbuisjes *16* en *18* wordt het zuurstofgehalte van het gas gecontroleerd. *22* is een schoorsteen van kwarts.

## Gebruik en invloed van gassen

In vele gevallen is het gewenst het smelten, dat aan het gieten in een hoogvacuum voorafgaat, in een gasatmosfeer, bijv. argon of waterstof, uit te voeren. Soms is dit gewenst om het verdampen van betrekkelijk vluchtige, maar gewenste, bestanddelen tot een minimum te beperken, meestal echter — en dit slaat speciaal op het gebruik van waterstof — om het zuurstofgehalte van het metaal op een zeer lage waarde te brengen. De gassen worden, voordat ze via de toevoerbuis (*15* in fig. 2) in de smeltruimte komen, van de laatste resten zuurstof bevrijd. Hiertoe worden ze geleid door een zuiveringsinstallatie (zie het in [2]) aangehaalde artikel), die in hoofdzaak bestaat uit een buis met op 500 °C verhitte koperkrullen en een tweetal koelers, die in vloeibare zuurstof zijn geplaatst indien argon, en in vloeibare stikstof indien waterstof het te zuiveren gas is. De zuiverheid van het inkomende gas wordt gecontroleerd met behulp van een 18% Cr-8% Ni-indicatorbuis [4]) (*16*). Het gas verlaat de smeltruimte door de nauwe zijbuis *17*, passeert wederom een indicatorbuis (*18*) en ontwijkt via een (niet in de figuur aangegeven) kwikventiel.

[4]) G. W. Rathenau en H. de Wit, Metallurgia **40**, 114, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Tot de metalen waaruit de laatste resten zuurstof met behulp van waterstof kunnen worden verwijderd, behoren nikkel en ijzer. De indicatorbuis *18* geeft het ogenblik aan dat er practisch geen zuurstof meer aan het gesmolten metaal wordt onttrokken. In plaats van de oorspronkelijk aanwezige zuurstof bevat het metaal nu echter een hoeveelheid opgeloste waterstof. Juist de metalen waarop hier gedoeld wordt, zoals nikkel en ijzer, bezitten in de vloeibare toestand een veel groter oplossend vermogen voor waterstof dan in de vaste toestand. Voert men het gieten in waterstof uit, dan moet als gevolg hiervan veel waterstof bij het stollen ontwijken. Dit stollen vindt echter in de met water gekoelde koperen coquille zo snel plaats dat vele gasbellen door het stollende metaal worden ingesloten. Ter demonstratie vertoont *fig. 3* een over de lengte doorgezaagde ijzeren staaf, zoals deze na het zuiveren en

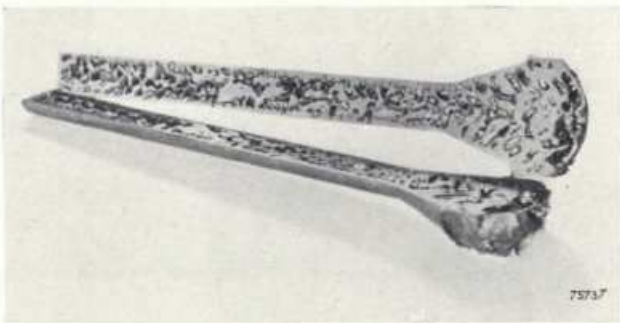


Fig. 3. Doorgezaagde ijzeren staaf, die in het beschreven toestel werd verkregen na zuiveren en gieten in waterstof van 1 atm. Ten gevolge van de grote hoeveelheid opgenomen waterstof, die bij het snelle stollen vrijkwam maar niet meer kon ontwijken, bevat het metaal talrijke gasbellen. Door wegpompen van de waterstof vóór het gieten wordt het verschijnsel vermeden.

gieten in waterstof van 1 atm werd verkregen. (Bij het normale onderzoek op de aanwezigheid van holten worden de gegoten staven natuurlijk niet doorgezaagd: er worden röntgenfoto's van gemaakt, waarop eventuele holten als donkere vlekken naar voren treden.)

De gasontwikkeling tijdens het stollen kan geheel worden vermeden door de waterstof na de zuivering zo volledig mogelijk uit de smeltruimte weg te pompen. Wordt het gas bijv. tot een druk lager dan $10^{-3}$ mm kwik verwijderd, dan blijkt een gegoten staaf van gezuiverd ijzer geen spoor van poriën of holten te vertonen. Het wegpompen van het gas moet aanvankelijk met een kleine snelheid geschieden, aangezien het opgeloste gas anders te stormachtig ontwijkt en metaaldruppels meesleept. Daarom wordt de smeltruimte eerst via een kraan in de nauwe zijbuis *17* met de voorpomp in verbinding gebracht. Is eenmaal het grootste deel van het gas verwijderd, dan wordt via de wijde buis *14* op de hoofdpomp overgeschakeld, die in weinige minuten de druk tot beneden $10^{-3}$ mm kwik verlaagt. Deze druk wordt gemeten in de toevoerbuis *15*, zodat men zeker kan zijn dat de druk in de smeltklok de genoemde waarde niet overschrijdt.

Moet de te maken legering elementen met een zeer grote affiniteit tot zuurstof bevatten (bijv. aluminium, zirconium, titanium, vanadium), dan is het beter deze niet reeds aan het begin bij de andere metalen in de smeltkroes te voegen. Doet men dit nl., dan verbinden zij zich bij het smelten met de resten zuurstof die in het ijzer, nikkel, enz. aanwezig zijn. De gevormde oxydes $Al_2O_3$, $ZrO_2$, enz. kunnen niet met waterstof worden gereduceerd. Weliswaar ballen deze oxydes samen en zullen zij door hun grotere of kleinere soortelijke gewicht, vergeleken met dat van de smelt, naar de bodem zakken resp. naar het oppervlak stijgen; in de practijk echter blijkt deze samenballing en afscheiding zeer langzaam te verlopen. Het beste is dan ook de genoemde gewenste verontreinigingen pas aan de smelt toe te voegen als de door waterstof reduceerbare bestanddelen reeds volledig gezuiverd zijn. De bedoelde verontreinigingen bevinden zich aanvankelijk in een zijbuis (*19*) en worden op het geschikte moment aan de smelt toegevoegd door een ferromagnetisch lichaam (*20*) met behulp van een verplaatsbare magneetspoel (*21*) naar voren te schuiven. Dank zij de bijzondere vorm van de schoorsteen (*22*) van doorzichtig kwarts komt het neervallende metaal in de smeltkroes terecht. De schoorsteen vervult ook nog enkele andere belangrijke functies, zoals het beschermen van de glazen wand van de smeltklok tegen opspattende metaaldruppeltjes en het opvangen van het grootste deel van het verdampende metaal.

Er volgen nu nog enige algemene opmerkingen over de methodes van de bereiding van zeer zuivere legeringen.

**Keuze der uitgangsmaterialen**

Als uitgangsmaterialen voor de bereiding der legeringen kiezen wij metalen die reeds een hoge graad van zuiverheid bezitten. Hierbij moet steeds bedacht worden dat alle als „zuiver" gekwalificeerde metalen toch grotere of kleinere hoeveelheden onbedoelde verontreinigingen bevatten. Dit geldt ook voor de „spectrochemisch zuivere" metalen, aangezien de spectrochemische analyse, nog afgezien van haar beperkte (zij het zeer grote) gevoeligheid normaliter in het geheel geen indicatie geeft over de aanwezigheid van de elementen koolstof, stikstof, zuurstof, phosphorus en zwavel. Deze elemen-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



ten hebben in het algemeen reeds in zeer geringe concentraties een onverwacht grote invloed op de eigenschappen van een metaal of legering. Zo is voor de mechanische eigenschappen van nikkel een kleine hoeveelheid zwavel dermate funest dat voor vele onderzoekingen en toepassingen nikkel met 0,01% zwavel, dat eventueel het predicaat „spectrochemisch zuiver" kan dragen, als sterk verontreinigd en onbruikbaar moet worden beschouwd (zie *fig. 4*). Daarentegen zal men nikkel met 0,1% cobalt voor dezelfde toepassingen meestal reeds tamelijk zuiver en goed bruikbaar kunnen noemen.

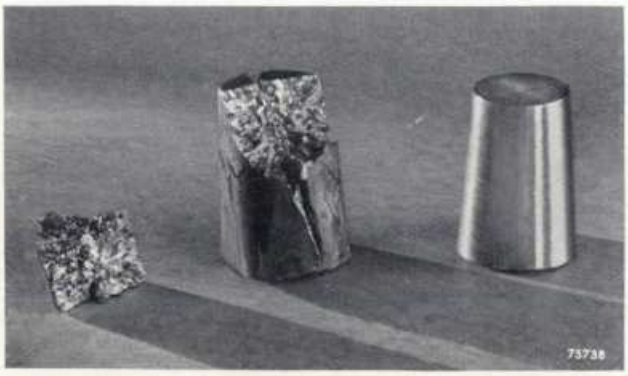



Fig. 4. Rechts een proefblok van nikkel met 0,02 % zwavel, zoals dit bij stollen in de smeltkroes is verkregen (dus zonder gieten). Zulk een blok zou door bewerkingen als smeden, walsen, trekken enz. in de gewenste vormen moeten worden gebracht. Door het zwavelgehalte is het nikkel echter dermate bros dat bij een poging tot uitsmeden de eerste klap een dergelijk blok reeds uit elkaar deed vallen, zoals op de foto is te zien.

Dit demonstreert dat men bij de keuze uit verschillende kwaliteiten van het uitgangsmetaal niet altijd het metaal met het kleinste totale gehalte aan ongewenste verontreinigingen zal kiezen. Heeft men te maken met verontreinigingen die in het smeltproces niet of slechts zeer moeilijk te verwijderen zijn (en tot deze verontreinigingen behoren cobalt en zwavel in nikkel), dan zal de keuze afhangen van de schadelijkheid der aanwezige verontreinigingen, bekeken vanuit het standpunt der te onderzoeken eigenschappen of der gewenste toepassingen. Ook wanneer het twee verontreinigingen *A* en *B* betreft waarvan de eerste zeer moeilijk en de tweede betrekkelijk gemakkelijk in het smeltproces kan worden uitgedreven, zal men eventueel aan een metaal met een groot gehalte aan *B* de voorkeur geven boven hetzelfde metaal met een klein gehalte aan *A*. Als voorbeeld zij vermeld dat het beste electrolytische ijzer aanzienlijk zuiverder is dan het beste carbonylijzer, maar het laatste bevat vrijwel uitsluitend koolstof, zuurstof en stikstof als verontreinigingen, die tijdens het smeltproces kunnen worden verwijderd (zie het in [2]) aangehaalde artikel), terwijl electrolytisch ijzer metallische verontreinigingen pleegt te bevatten die niet of zeer moeilijk te verwijderen zijn.

Metallische verontreinigingen kunnen gemakkelijk worden verwijderd indien het grondmetaal een veel geringere vluchtigheid bezit. In het beschreven apparaat, dat tot een druk van $10^{-5}$ mm kwik kan worden geëvacueerd, kan bijv. een eventueel mangaangehalte van ijzer, door verdamping uit het vloeibare ijzer bij 1600 °C, tot beneden 0,001% worden verlaagd.

In principe kan men metallische verontreinigingen die een veel grotere affiniteit tot zuurstof hebben dan het grondmetaal verwijderen door de gesmolten massa een afgepaste hoeveelheid zuurstof te laten opnemen. Hierbij worden de genoemde verontreinigingen preferent geoxydeerd. In het bovenstaande is er echter reeds op gewezen dat de afscheiding van de aldus gevormde oxydes uit het metaal meestal zeer traag verloopt, zodat deze zuiveringsmethode voor de practijk niet zeer geschikt is.

### Invloed van de smeltkroes

Biedt het smeltproces enerzijds gelegenheid om allerlei ongewenste verontreinigingen uit de legering te verwijderen, anderzijds moet altijd rekening worden gehouden met de invoering van ongewenste verontreinigingen als gevolg van het contact tussen het vloeibare metaal en de wand van de kroes. De keuze van het kroesmateriaal is daarom van groot belang [5]). In het algemeen is men aangewezen op kroezen van keramisch materiaal.

Metalen kroezen komen in het algemeen niet in aanmerking, daar vrijwel alle metalen legeringen met elkaar vormen. Een interessante uitzondering is bijv. de combinatie ijzer en lood. IJzer is zo goed als onoplosbaar in lood, zodat men inderdaad lood in een ijzeren kroes kan smelten zonder dat het door het kroesmateriaal wordt verontreinigd.

Voor een enkel geval kan een kroes van grafiet worden gebruikt, bijv. voor het smelten van koper. Meestal is echter ook grafiet als kroesmateriaal onbruikbaar, aangezien vele metalen onder carbidevorming met de wand zouden reageren, ofwel aanzienlijke hoeveelheden koolstof in oplossing zouden opnemen.

Voor de zeer reactieve metalen titanium en zirconium is in feite geen enkel kroesmateriaal geheel bevredigend. Bij gebruik van een grafieten kroes is de optredende verontreiniging met koolstof verre van verwaarloosbaar, maar een keramische kroes is hier nog minder geschikt, aangezien de genoemde metalen in de vloeibare toestand met geen enkel oxyde (zelfs niet met hun eigen oxydes) in contact kunnen worden gebracht zonder dat zij grote hoeveelheden zuurstof in oplossing opnemen. Met een kroes van grafiet blijkt men in dit geval nog het kleinste kwaad te kiezen.

[5]) Niet lang geleden is een methode naar voren gebracht waarbij metalen in vrij zwevende toestand kunnen worden gesmolten, dus zonder enige aanraking met een kroes; zie E. C. Okress, D. M. Wroughton, G. Comenetz, P. H. Brace, J. C. R. Kelly, Electromagnetic levitation of solid and molten metals, J. appl. Phys. **23**, 545-552, Mei 1952. Deze methode is echter tot dusverre slechts voor zeer geringe hoeveelheden uitgewerkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Een veel gebruikt kroesmateriaal is zuiver aluminiumoxyde. Lange tijd hebben ook wij in hoofdzaak met dit materiaal gewerkt. Het is echter van belang erop te wijzen dat soms een ander keramisch kroesmateriaal nog beter geschikt kan zijn. Wordt bijv. een koolstofhoudende legering in een kroes van zuiver aluminiumoxyde gesmolten, dan zal de legering metallisch aluminium als verontreiniging opnemen als gevolg van de reactie tussen de koolstof en de kroeswand. Maar ook het smelten van een koolstofvrij metaal in een $Al_2O_3$-kroes kan tot invoering van Al in de smelt leiden. Er stelt zich nl. het volgende evenwicht in:

$$Al_2O_3 \rightleftarrows 2[Al] + 3[O], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

waarin vierkante haken de in het vloeibare metaal opgeloste componenten aanduiden. De door (1) aangeduide gedeeltelijke splitsing van het vaste $Al_2O_3$ is bijv. in het geval van ijzer niet geheel te verwaarlozen, als gevolg van de grote oplossingswarmten van aluminium en zuurstof in vloeibaar ijzer. Een thermodynamische berekening leert dat bij een temperatuur van 1600 °C de reactieconstante in dit geval gegeven wordt door:

$$K = [\%\,Al]^2 \cdot [\%\,O]^3 \approx 10^{-13} \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

(Het teken % duidt hier gewichtsprocenten aan.) Bij de zuivering van carbonylijzer (zie hierboven) hebben wij inderdaad het geval dat dit langdurig op 1600 °C wordt verhit, in een stroom van zuivere waterstof. Bevindt het ijzer zich hierbij in een kroes van $Al_2O_3$, dan zal zich het bedoelde evenwicht kunnen instellen, en volgens (2) zal het Al-gehalte van het ijzer stijgen naarmate het O-gehalte door de behandeling met waterstof daalt. Brengen we het zuurstofgehalte van het gesmolten metaal tot 0,001% terug, dan neemt het metaal volgens (2) ca. 0,01% Al uit de kroeswand op.

Zuiverder ijzer kan worden verkregen door een kroes te gebruiken van magnesiumoxyde. Doordat de oplossingswarmte van magnesium in vloeibaar ijzer het tegengestelde teken heeft als die van aluminium, is de reactieconstante van het met (1) overeenkomende evenwicht veel kleiner dan volgens (2). Bovendien is magnesium veel vluchtiger dan aluminium, zodat het magnesium dat tijdens het smeltproces gevormd wordt, het gesmolten ijzer door verdamping weer verlaat.

Typische analyses van carbonylijzer na zuivering in een $Al_2O_3$- en in een MgO-kroes vindt men in *tabel I*.

Een zeer gevoelige indicatie voor de zuiverheid van een metaal geeft de electrische weerstand bij zeer lage temperaturen. Deze zg. restweerstand is kleiner naarmate het metaal zuiverder is. Om een idee te krijgen van de grootte van de restweerstand, vergelijken wij de electrische weerstanden $R$ bij 291 °K (kamertemperatuur) en 20 °K (temperatuur van vloeibare waterstof). Voor het ijzer gesmolten in een $Al_2O_3$-kroes bleek het quotient $R_{291}/R_{20} = 31$ te zijn. Voor het ijzer gesmolten in een MgO-kroes was $R_{291}/R_{20} = 140$. De laatstgenoemde hoge waarde wijst evenals tabel I op een zeer grote zuiverheid van het MgO-ijzer.

**Tabel I.** Gehalte aan verontreinigingen van ijzer dat in het beschreven toestel werd gesmolten, bij gebruik van twee verschillende kroezen.

| | $Al_2O_3$-kroes | MgO-kroes |
|---|---|---|
| Mg | $0{,}000^7$% | $0{,}001^6$ % |
| Si | 0,002 | 0,002 |
| Al | 0,027 | 0,001 |
| Cu | 0,002 | $0{,}000^5$ |
| Co | 0,001 | $0{,}000^5$ |
| Ni | 0,006 | 0,003 |
| C | 0,000 | 0,000 |
| S | 0,000 | 0,000 |
| O | 0,000 | 0,000 |

**Voorbeelden**

De zojuist besproken bereiding van zuiver ijzer in een MgO-kroes demonstreert duidelijk in hoe hoge mate een metaal in het beschreven apparaat kan worden gezuiverd van ongewenste verontreinigingen. Uitgaande van dit zeer zuivere ijzer zijn wij in staat geweest de invloed van verschillende, technisch interessante verontreinigingen op de eigenschappen van ijzer afzonderlijk te bestuderen. Ook de invloed van verschillende combinaties van verontreinigingen werd onderzocht. De resultaten van enkele van deze onderzoekingen zijn reeds in artikelen in dit tijdschrift en elders gepubliceerd [6]). Andere mededelingen zullen in de naaste toekomst volgen.

Ook vele nikkellegeringen zijn in een uitzonderlijk zuivere toestand in ons apparaat bereid. Wij willen het artikel beëindigen met dit aan een drietal voorbeelden te demonstreren.

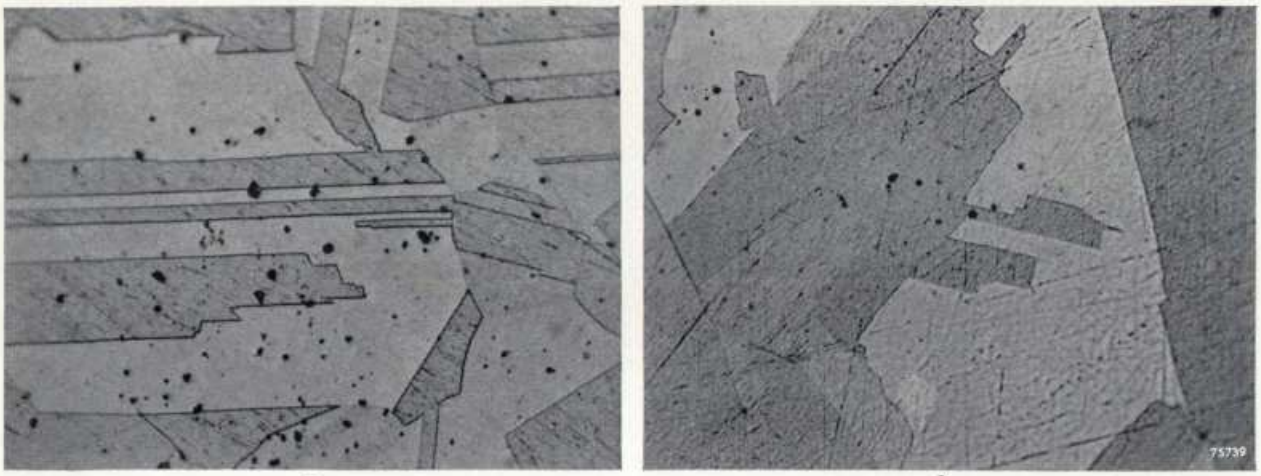
---

[6]) J. D. Fast, Onderzoekingen over de kerfslagwaarde van ijzer en staal, Philips techn. T. **11**, 307-314, 1949; J. D. Fast, Verouderingsverschijnselen in ijzer en staal na snel koelen, Philips techn. T. **13**, 165-172, 1951; J. D. Fast en L. J. Dijkstra, Inwendige demping in ijzer en staal, Philips techn. T. **13**, 172-180, 1951; J. D. Fast, Vervormingsveroudering in ijzer en staal, Philips techn. T. **14**, 24-31, 1952 (No. 1); J. D. Fast en J. L. Meijering, Anelastic effects in iron containing vanadium and nitrogen, Philips Res. Rep. **8**, 1-20, 1953 (No. 1); J. D. Fast en M. B. Verrijp, Diffusion of nitrogen in iron, J. Iron and Steel Inst., verschijnt binnenkort.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



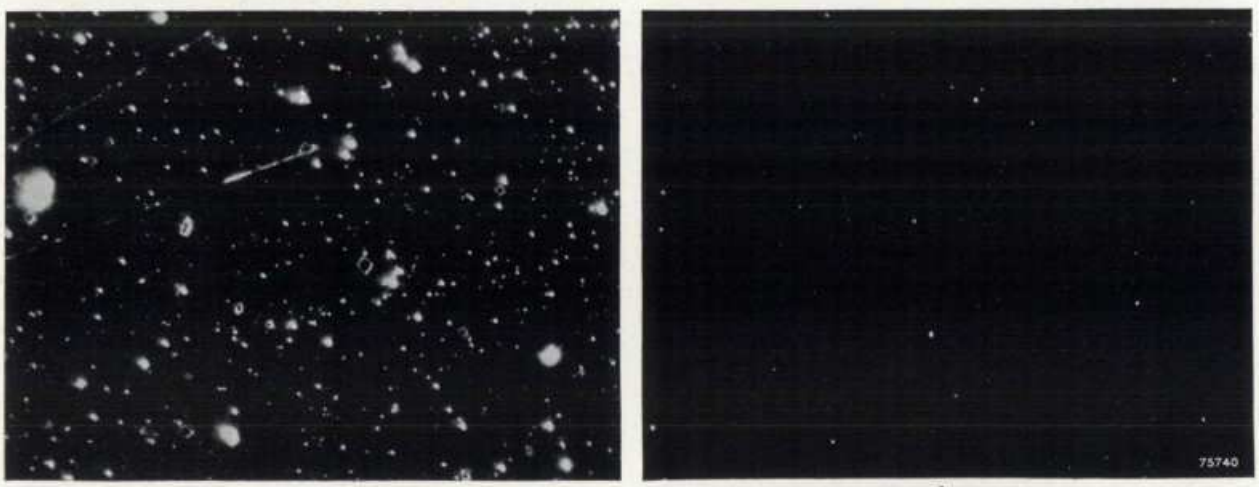



*a* *b*

Fig. 5. *a*) Microfoto van een legering 80 % Ni + 20 % Cr, bereid volgens de klassieke methodes. *b*) Microfoto van eenzelfde legering, bereid in het vacuumsmelttoestel. Duidelijk is te zien dat deze legering veel minder insluitsels bevat dan die in (*a*). Ten gevolge van de grotere zuiverheid van deze legering is hier, vergeleken met (*a*), een langere etsing nodig om de korrelgrenzen zichtbaar te maken. De langere etsing verraadt zich door het sterker naar voren treden van krassen op het gepolijste oppervlak. Vergroting van (*a*) en (*b*) 400 ×.

1) De *figuren 5* en *6* tonen microfoto's van legeringen van 80% Ni + 20% Cr, de ene gemaakt volgens klassieke methodes, de andere in het vacuumapparaat. Duidelijk is te zien dat de laatste veel minder insluitsels bevat dan de eerste.
2) Een hoge graad van zuiverheid, speciaal afwezigheid van insluitsels, is o.a. van belang als men magnetisch zachte legeringen wil verkrijgen. Dit wordt gedemonstreerd door *fig. 7*, die de *B-H*-krommen van twee legeringen van 40% Ni + 60% Fe geeft. De getrokken kromme heeft betrekking op een legering die in het besproken apparaat is vervaardigd, de gestippelde kromme op een legering die met veel zorg volgens klassieke methodes is gemaakt. De coërcitiefkracht van de laatste is 16 A/m (0,2 oersted) en komt reeds overeen met die van de beste legeringen van deze samenstelling die in de literatuur worden beschreven [7]). De coërcitiefkracht van de in ons apparaat gemaakte legering ligt echter nog aanzienlijk lager, nl. bij 3,2 A/m (0,04 oersted). De thermische behandelingen die aan de magnetische metingen voorafgingen, waren voor beide legeringen dezelfde. Zij werden in de vorm van een ring

[7]) Vgl. bijv. R. M. Bozorth, Ferromagnetism, Van Nostrand Comp., New York 1951, fig. 5-14, blz. 115.
F. Pawlek, Magnetische Werkstoffe, Springer, Berlijn 1952, fig. 158, blz. 188.




*a* *b*

Fig. 6. Microfoto's bij scherende verlichting („donkerveldopnamen"), van dezelfde legeringen als in fig. 5*a* en *b*. Bij deze opneemtechniek blijft het gepolijste, als een spiegel reflecterende, metaaloppervlak onzichtbaar; de oneffenheden die door de insluitsels ontstaan zijn, ziet men als lichte vlekken. *a*) is weer de op normale wijze, *b*) de met het vacuumsmelttoestel bereide legering. Vergroting 550 ×.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



(verkregen door walsen en draaien) gezamenlijk gedurende 5 uur op 1200 °C in zuivere waterstof verhit.

3) De zuiverheid van de in ons apparaat vervaardigde legeringen bleek ook bij het maken van Al-Ni-legeringen die ongeveer 1 atoom Al op 1 atoom Ni bevatten, en van legeringen van

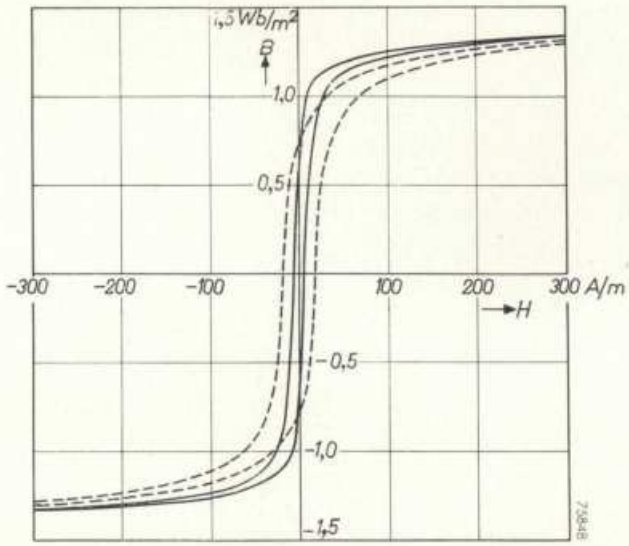



Fig. 7. Magnetisatiekrommen van twee legeringen van 40 % Ni + 60 % Fe. De gestippelde kromme slaat op een legering die met veel zorg volgens klassieke methodes is gemaakt; de coërcitiefkracht heeft hier de kleinste voor deze legering uit de literatuur bekende waarde [7]). De getrokken kromme heeft betrekking op een legering, bereid in het beschreven vacuumsmelttoestel.

deze samenstelling waaraan nog kleine hoeveelheden van een ander metaal, bijv. ijzer, waren toegevoegd. Deze legeringen waren alle metallisch blank en vertoonden niet de kleurschakeringen door andere onderzoekers [8]) geconstateerd. Dit maakt het waarschijnlijk dat deze kleuren aan wisselende hoeveelheden verontreinigingen moeten worden toegeschreven, die bij de bereiding in ons apparaat konden worden vermeden.

In overeenstemming met het in de vorige paragraaf besprokene, bevond bij de experimenten (1) en (3) het zuivere chroom resp. aluminium dat voor de bereiding van de legeringen werd gebruikt zich aanvankelijk in zijbuis *19* (fig. 2). Pas na een zuivering van het gesmolten nikkel in stromende waterstof werd het Cr resp. Al toegevoegd. In verband met de grote reactiewarmte tussen Al en Ni, moest dit bij het aluminium in kleine porties geschieden. Pas na het toevoegen werd de waterstof weggepompt en de legering in de koperen coquille gegoten.

Hoewel het bovenstaande duidelijk genoeg zal hebben aangetoond van hoe groot belang de op de gegeven wijze bereide zeer zuivere legeringen zijn voor het fundamentele materiaalonderzoek, is het misschien nuttig te vermelden dat ook voor de ontwikkeling en de fabricage van bepaalde producten met vrucht van het beschreven smelttoestel gebruik wordt gemaakt. Het is daarbij in vele gevallen niet alleen van belang dat de bereide legeringen een nauwkeurig vastgestelde — en eventueel van de gebruikelijke afwijkende — samenstelling bezitten, maar ook dat de in een goed vacuum gesmolten en gegoten legeringen slechts een uiterst geringe gasafgifte zullen vertonen als zij later in de vaste toestand worden verhit. Voor allerlei metalen onderdelen van electronenbuizen, in het bijzonder voor doorvoeringen door het glazen omhulsel, is dit van essentieel belang, aangezien een eventuele gasafgifte der inwendige onderdelen de levensduur der buizen sterk kan verkorten, terwijl een gasafgifte der insmeltdraden of -platen lekkende doorvoeren ten gevolge kan hebben. Bij de ontwikkeling van nieuwe soorten buizen, waarbij allerlei factoren welker invloed men nog niet geheel doorziet een mislukking ten gevolge kunnen hebben, zal men zich dus gaarne bedienen van metalen waarbij althans de genoemde schadelijke invloeden met zekerheid uitgeschakeld zijn. Betreft het onderdelen waarvoor in elke buis slechts een zeer geringe hoeveelheid materiaal nodig is (bijv. in de vorm van zeer dun draad), zodat de prijs hiervan dus vrijwel geen rol speelt, dan kan het beschreven toestel, dat charges tot ongeveer 2 kg kan verwerken, zelfs in een normale massafabricage worden ingeschakeld.

**Samenvatting.** Door metalen en legeringen in een hoogvacuum te smelten, kan men deze in vele gevallen in zeer hoge mate zuiveren van ongewenste verontreinigingen. De kans dat bij de verwerking van de zuivere legering weer verontreinigingen erin worden gebracht, maakt men zo klein mogelijk door de gesmolten legering reeds in het hoogvacuum in een gekoelde coquille van geschikte vorm te gieten. Tevens worden hierdoor de holten vermeden die bij het geleidelijk stollen van charges van enkele kilogrammen in een smeltkroes geregeld optreden. De apparatuur die voor deze werkwijze is ontwikkeld, wordt in dit artikel beschreven. Verder worden nog enkele voor de practijk belangrijke opmerkingen gemaakt over de keuze van de uitgangsmaterialen en van de smeltkroes. Een aantal voorbeelden demonstreren de uitzonderlijke zuiverheid der legeringen die met de apparatuur werden verkregen en die zowel voor fundamenteel onderzoek als voor de ontwikkeling van electronenbuizen en andere producten van groot belang zijn.

[8]) A. J. Bradley en A. Taylor, Proc. Roy. Soc. **A 159**, 56-72, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# EEN VOORVERSTERKER VOOR ELECTRONISCHE VOLTMETERS EN OSCILLOGRAFEN

door F. G. PEUSCHER en J. van HOLTHOON. 621.394.645:621.317.7

*Hoewel de versterker waaraan het onderstaande artikel is gewijd, door geen enkel nieuw principe of revolutionnair idee is gekenmerkt, lijkt een beschrijving ervan gewettigd, wegens de grote doelmatigheid van dit toestel, dat in vele gevallen een waardevolle aanvulling van een instrumentarium van electronische meetapparaten zal vormen.*

Reeds een dertigtal jaren geleden werden triodes en tetrodes gebruikt in zg. buis- of electronische voltmeters. Deze klasse van instrumenten heeft boven andere soorten van wisselspanningsmeters een reeks van principiële voordelen, waarvan de voornaamste de volgende zijn: zij kunnen een groot frequentiegebied beslaan, zij vormen voor de spanningsbron waaraan men meet, een uiterst geringe belasting en zij kunnen, dank zij het gebruik van versterkers, zeer gevoelig worden gemaakt. Vooral de laatste tien jaar is de ontwikkeling van electronische voltmeters in snel tempo gegaan en in het bijzonder erop gericht geweest, de genoemde principiële eigenschappen meer en meer tot hun recht te laten komen. Van de talrijke instrumenten waartoe deze ontwikkeling heeft geleid, willen wij hier slechts één sprekend voorbeeld noemen: de meter type GM 6016, die geschikt is voor frequenties van 1 kHz tot 30 MHz en reeds bij 3 mV de volle uitslag geeft.

Dezelfde voordelen gelden voor kathodestraaloscillografen. Ook deze zijn voorzien van versterkers met hoge ingangsimpedantie, die het instrument een grote gevoeligheid geven en voor een uitgestrekt frequentiegebied kunnen worden gedimensionneerd.

Het feit van de grote gevoeligheid neemt echter niet weg dat men in de practijk voor gevallen kan komen te staan waarin een nog grotere gevoeligheid gewenst is. Met het oog op zulke gevallen hebben wij een voorversterker ontworpen [1]), die, tussen de spanningsbron en de voltmeter resp. oscillograaf geschakeld, de gevoeligheid met een factor 100 vergroot. Deze versterker (type GM 4574) is afgebeeld in *fig. 1* en vormt het onderwerp van dit artikel.

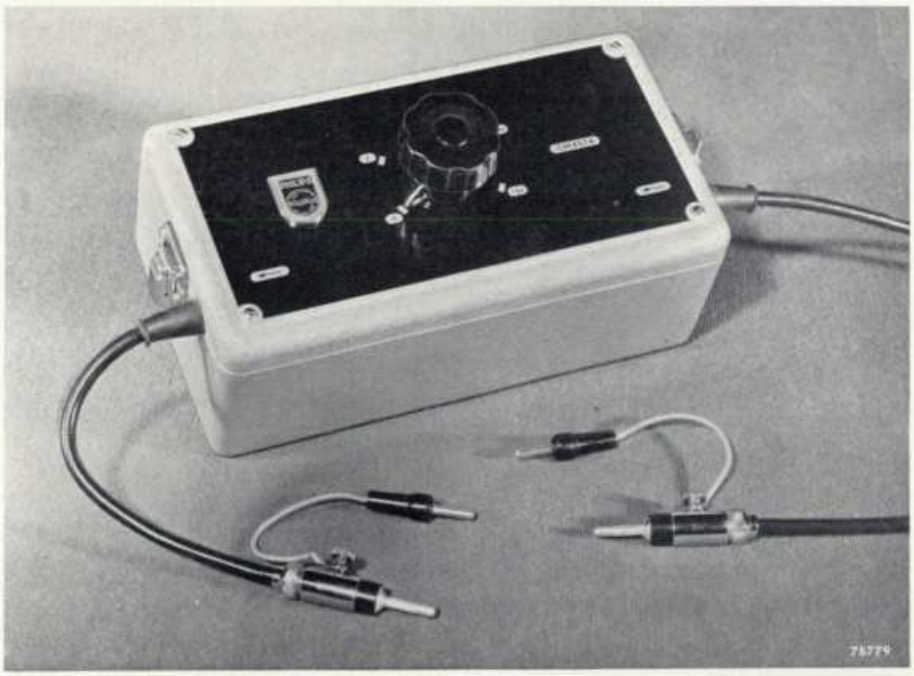


Fig. 1. De voorversterker type GM 4574, die een 100-voudige versterking levert. Grondvlak 22 cm × 11,5 cm.

[1]) De ontwikkeling is mede het werk geweest van Ir. E. E. Carpentier, tegenwoordig niet meer bij Philips werkzaam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Algemene beschrijving**

Bij het ontwerpen heeft de bedoeling voorgezeten, een versterker te maken die klein van afmetingen is, ten einde op de werktafel, waarop zowel het meetobject als verschillende meetinstrumenten een plaats moeten vinden, niet meer ruimte in beslag te nemen dan strikt nodig is. Daarom is gebruik gemaakt van subminiatuurbuizen, die ontwikkeld zijn voor hoortoestellen [2]) en gevoed worden uit droge batterijen. Door dit laatste komen een voedingstransformator, een gelijkrichtbuis en een afvlakfilter te vervallen. Het vermogen dat de subminiatuurbuizen in gloeidraad en anodekring verbruiken, is gering, zodat de voedingsbatterijen zeer klein kunnen zijn. Het gebruik van batterijen heeft nog een voordeel, namelijk de volledige afwezigheid van spanningsstoten, die in een net herhaaldelijk voorkomen, en van bromspanningen. Dit is hier van veel belang omdat de ingangsspanning zeer klein kan zijn, in de orde van grootte van 0,1 mV.

Batterijen hebben echter ook een bezwaar: zij scheiden soms stoffen af die corrosie kunnen veroorzaken of de isolatie in gevaar brengen. Deze moeilijkheid is in onze versterker afdoende opgelost, doordat de batterijen zijn ondergebracht in goed isolerende doosjes (*fig. 2*), die vervuiling van het toestel geheel voorkomen en zelf, zo nodig, gemakkelijk uit het toestel kunnen worden genomen en met water schoongespoeld.

Om een zo goed als constante versterking te verkrijgen — voor meetdoeleinden uiteraard een noodzakelijke voorwaarde — moet men een sterke tegenkoppeling aanbrengen, te meer omdat hier de steilheid van de buizen, door de geleidelijk dalende batterijspanningen, vrij sterk verandert.

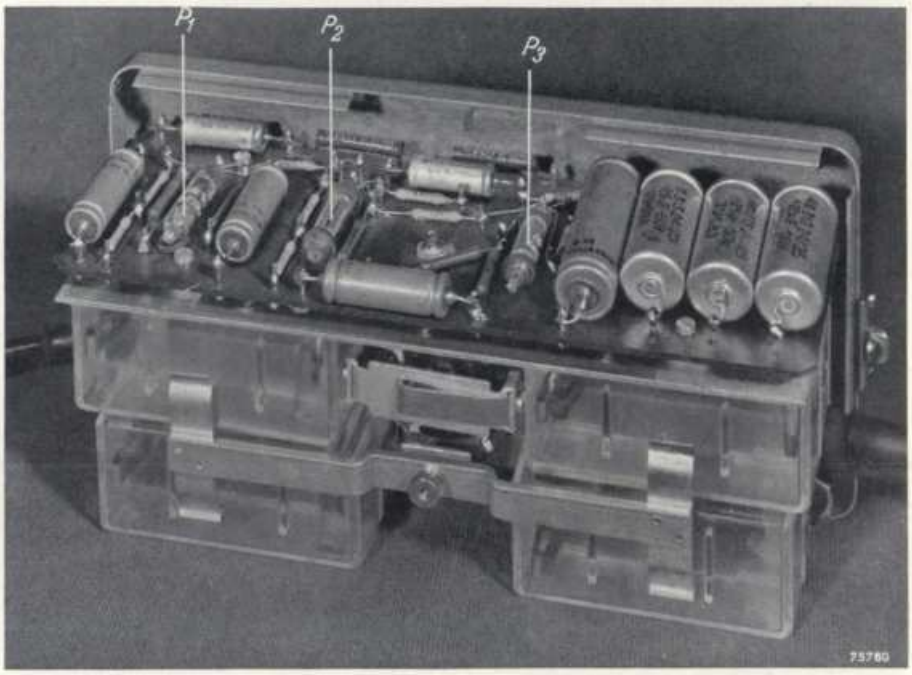



Fig. 2. Het inwendige van de voorversterker GM 4574. $P_1$, $P_2$ en $P_3$ zijn subminiatuurpenthodes type DL 67. De vier doosjes van doorzichtig isolatiemateriaal zijn bestemd voor de batterijen (drie voor gloeistroombatterijen van 1,5 V en één voor twee anodebatterijen van 22,5 V). Zij waarborgen goede isolatie tussen de batterijen onderling en ten opzichte van het chassis, voorkomen vervuiling van het toestel door afscheidingsproducten van de batterijen en kunnen gemakkelijk uit het apparaat worden genomen en schoongemaakt.

Bij een totale versterking van 100 dient derhalve de versterking die zou optreden bij afwezigheid van de tegenkoppeling, veel groter dan 100 te zijn. Daarom worden twee trappen in cascade gebruikt, die elk circa 63× versterken, samen dus bijna 4000×. Op deze trappen volgt een derde, die in anodebasisschakeling werkt („cathode follower"); het doel hiervan is, de uitgangsimpedantie laag te houden (kleiner dan 5000 ohm), zodat de versterking nagenoeg onafhankelijk is van de (hoge) ingangsimpedantie der verschillende toestellen die op de uitgangsklemmen kunnen worden aangesloten. De versterking van deze derde trap is iets kleiner dan 1.

[2]) Philips techn. T. **15**, 37-48, 1953 (No. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Principeschema**

Het principeschema is weergegeven in *fig. 3*. Gebruikt worden drie penthodes type DL 67. Daar in de schakeling de kathodes niet rechtstreeks met elkaar zijn verbonden, wordt elke gloeidraad (gloeistroom 13 mA) gevoed uit een eigen batterij (1,5 V). De zoëven genoemde doosjes waarborgen goede isolatie tussen de batterijen onderling en ten opzichte van het chassis.

De buis DL 67 is zo geconstrueerd dat er reeds bij lage voedingsspanningen (max. 45 V) voldoende anodestroom kan lopen. Hiertoe is het schermrooster gewikkeld met een kleine spoed. Dientengevolge is de schermroostersteilheid groot, dwz. veranderingen van de schermroosterspanning hebben grote invloed op de instelling van de buis. Om te voorkomen dat bij dalen van de spanning der anodebatterij de instelling te sterk zou verlopen, wordt bij de eerste en de tweede buis — de derde is geschakeld als triode — het schermrooster gevoed over een hoge weerstand. Bij daling van de batterijspanning neemt de schermroosterstroom iets af, waardoor het spanningsverlies in de voorschakelweerstand kleiner wordt, hetgeen de batterijspanningsdaling ten dele compenseert. Het gevolg is dat de schermroosterstroom — en dientengevolge ook de anodestroom — veel minder van de batterijspanning afhankelijk is dan wanneer het schermrooster bijv. rechtstreeks met een aftakking op de batterij was verbonden. Ook de verschillen in schermroostersteilheid, die men tussen de verschillende exemplaren van buizen aantreft, worden door de schermroosterweerstand onschadelijk gemaakt.

De schermroosters zijn voor wisselspanning ontkoppeld door de condensatoren $C_4$ en $C_5$. Deze bestaan ieder uit een electrolytische condensator van grote capaciteit (25 μF), parallelgeschakeld met een papiercondensator (niet getekend in fig. 3) van veel kleinere capaciteit. Electrolytische condensatoren hebben het voordeel van een zeer klein volume per μF, vooral bij de lage werkspanningen die in de onderhavige versterker voorkomen. De papiercondensator is bedoeld om ook bij hoge frequenties, waarbij de electrolytische condensator, door zijn met de frequentie toenemende serieweerstand, een vrij hoge impedantie heeft, een goede ontkoppeling te waarborgen. Een derde electrolytische condensator ($C_6$) overbrugt de anodebatterij, om te voorkomen dat ongewenste koppeling ontstaat via de inwendige weerstand van deze batterij; vooral bij oude batterijen kan de inwendige weerstand vrij hoog zijn.

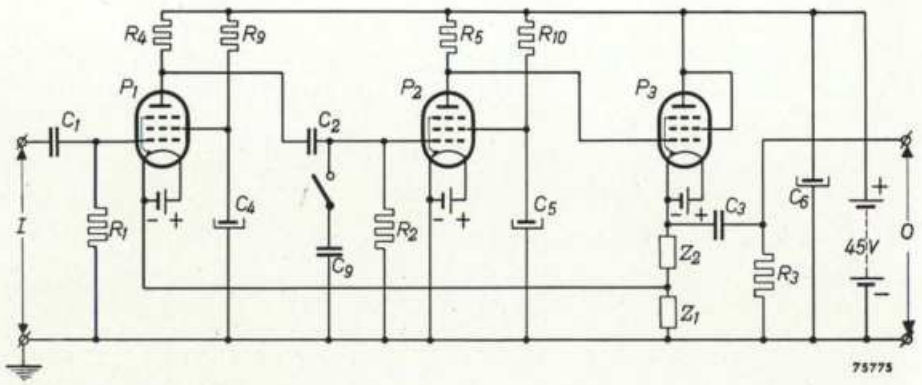



Fig. 3. Principeschema van de versterker. *I* ingang. *O* uitgang. $P_1$, $P_2$, $P_3$ penthodes DL 67 ($P_3$ is geschakeld als triode). $C_1$, $C_2$, $C_3$ koppelcondensatoren. $C_4$, $C_5$, $C_6$ ontkoppelcondensatoren. $C_9$ condensator waarmee de ruisspanning kan worden verlaagd, ten koste van de bandbreedte. $R_1$, $R_2$ roosterweerstanden. $R_3$ weerstand tussen de uitgangsklemmen. $R_4$, $R_5$ anodeweerstanden. $R_9$, $R_{10}$ schermroosterweerstanden. $Z_1$-$Z_2$ tegenkoppelnetwerk.

Capacitieve koppelingen zijn aangebracht tussen de ingang en de eerste buis ($C_1$-$R_1$), tussen de eerste buis en de tweede ($C_2$-$R_2$) en vóór de uitgang ($C_3$-$R_3$). De tweede buis is verbonden met de derde door een gelijkspanningskoppeling.

Als kathodeaansluiting dient bij ieder van de buizen de negatieve pool van de gloeistroombatterij. Over de hoge lekweerstand bij de eerste en de tweede buis ($R_1$, $R_2$) ontstaat een negatieve roosterspanning ten opzichte van het negatieve eind van de gloeidraad; bij de eerste buis wordt hieraan nog een klein bedrag toegevoegd door het spanningsverlies in de impedantie $Z_1$, die deel uitmaakt van het tegenkoppelnetwerk.

De steilheid van de buizen bedraagt in het werkpunt ongeveer 0,1 mA/V. De ingangsimpedantie is omstreeks 5 MΩ.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Tegenkoppeling**

Het tegenkoppelnetwerk is in fig. 3 aangeduid met de impedanties $Z_1$ en $Z_2$. De tegenkoppelingsverhouding is $\beta = Z_1/(Z_1 + Z_2)$, dit is het deel van de uitgangsspanning dat bij de ingangsspanning wordt gevoegd. De verhouding waarin de versterking $A$ die zou optreden indien men zonder tegenkoppeling werkte, wordt verkleind, is $1 : (1 + \beta A)$. In ons geval is $A$ ongeveer 4000, de gewenste totale versterking $A' = 100$, dus $\beta = Z_1/(Z_1 + Z_2)$ moet ongeveer 1/100 zijn. Invloeden op de versterking worden in de verhouding $1 : (1 + \beta A) = 1{:}40$ verzwakt. Dit is voldoende om te maken dat de versterking (behalve bij de allerhoogste frequenties) niet meer dan 10% achteruitgaat als alle batterijspanningen tot op de helft teruglopen. Ook de niet-lineaire vervorming wordt in de verhouding 1 : 40 verkleind; dit is vooral van belang wanneer de versterker wordt gebruikt bij een oscillograaf.

In *fig. 4* is het tegenkoppelnetwerk nader gespecificeerd. Bij frequenties in de buurt van 1000 Hz mag men de getekende capaciteiten $C_p$ en $C_7$ wegdenken en $C_8$ beschouwen als een kortsluiting. $Z_1$ bestaat dan slechts uit de weerstand $R_6$, en $Z_2$ uit de parallelschakeling van de weerstanden $R_7$ en $R_8$. Het instellen van de versterking op de gewenste waarde ($100 \pm 3\%$) gebeurt door $R_6$ de juiste waarde te geven.

In fig. 4 stelt $C_p$ een parasitaire capaciteit voor, in hoofdzaak de capaciteit van de gloeistroombatterij der eerste buis ten opzichte van aarde. Bij hoge frequenties mag de invloed van $C_p$ niet worden verwaarloosd. Deze invloed kan echter worden opgeheven met behulp van de kleine trimcondensator $C_7$; de verhouding $Z_1/(Z_1 + Z_2)$ wordt immers onafhankelijk van de frequentie indien $C_7$ voldoet aan de voorwaarde

$$C_7 \frac{R_7 R_8}{R_7 + R_8} = C_p R_6.$$

Opdat ook kanteel- en impulsvormige spanningen onvervormd worden versterkt, moet het instellen

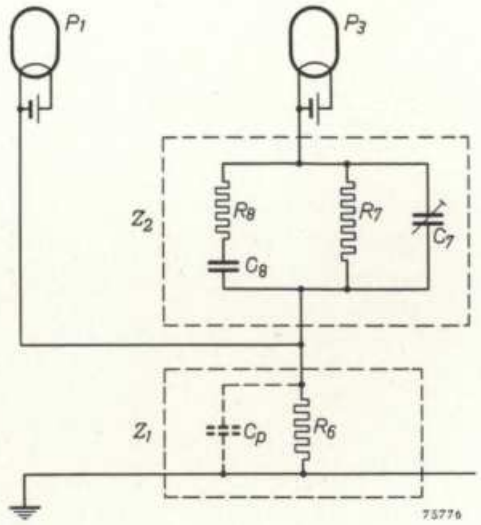
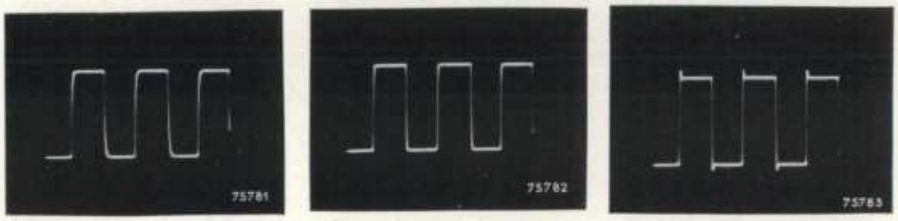



Fig. 4. Details van het tegenkoppelnetwerk $Z_1$-$Z_2$. Parallel met de weerstand $R_6$ bevindt zich een parasitaire capaciteit $C_p$. De invloed hiervan kan worden opgeheven met behulp van de trimcondensator $C_7$. De vaste condensator $C_8$, in serie met de weerstand $R_8$, verbetert de frequentiekarakteristiek bij lage frequenties.

van $C_7$ zeer zorgvuldig geschieden. Het gebeurt bij een kanteelspanning van circa 5000 Hz. De vorm van de uitgangsspanning van de versterker wordt bekeken op een oscillograaf; onjuiste instelling van $C_7$ is dan zeer duidelijk te zien (*fig. 5*) [3]).

De eindige $RC$-tijd van de drie capacitieve koppelingen ($C_1$-$R_1$, $C_2$-$R_2$ en $C_3$-$R_3$) maakt dat de versterking bij lage frequenties kleiner is dan in het middengebied. Ter compensatie is het tegenkoppelnetwerk zo ingericht dat bij afnemende frequentie de tegenkoppeling zwakker wordt. Daartoe dient de condensator $C_8$ (fig. 4), die bij lager wordende frequentie de impedantie van de tak $R_8$-$C_8$, dus ook de impedantie $Z_2$, doet toenemen en de verhouding $Z_1/(Z_1 + Z_2)$ derhalve verkleint. Volmaakt is deze compensatie niet; om in een bepaald frequentiegebied niet te weinig compensatie te hebben, moet men in een ander gebied een zekere overcompensatie

[3]) De versterker wordt hier dus beoordeeld naar zijn sprongkarakteristiek. Vgl. J. Haantjes, Philips techn. T. **6**, 193-201, 1941.




*a* *b* *c*

Fig. 5. Ter illustratie van de invloed van de trimcondensator $C_7$ (fig. 4). De ingangsspanning was kanteelvormig, met een frequentie van 5000 Hz. Afgebeeld zijn oscillogrammen van de uitgangsspanning, *a*) bij te kleine, *b*) bij juiste en *c*) bij te grote waarde van $C_7$. Opgenomen met een oscillograaf GM 5653.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



toelaten. Vandaar dat de karakteristiek (kromme *1* in *fig. 6*) bij frequenties beneden 100 Hz iets gaat oplopen en bij 2 Hz een maximum bereikt, dat, gemiddeld over verschillende exemplaren, ongeveer 12% boven de nominale waarde van de versterking ligt. Dit verloop heeft tot gevolg dat bijv. een zuivere kanteelspanning van 12,5 Hz enigszins wordt vervormd zoals is te zien in *fig. 7a*; bij 25 Hz echter is deze vervorming al bijna, en bij 50 Hz geheel onmerkbaar (fig. 7*b* en *c*). Zonder compensatie zou een kanteelspanning van 50 Hz

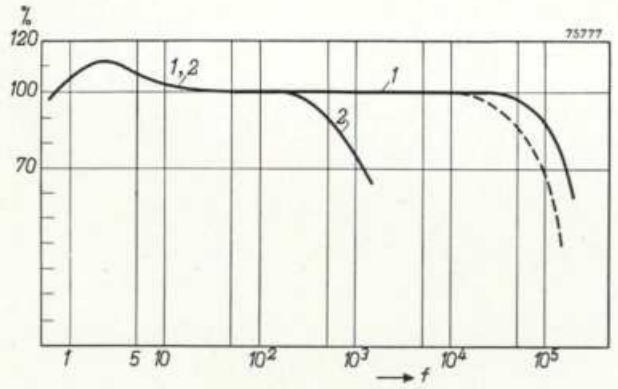



Fig. 6. Versterking (relatief) als functie van de frequentie $f$, opgenomen bij een belasting van 1 MΩ parallel met 20 pF, *1* zonder, *2* met de condensator $C_9$ (fig. 3). 100% komt overeen met een versterking $A' = 100 \pm 3\%$ bij nominale batterijspanningen, en met een max. 10% kleinere versterking als de batterijspanningen tot op de helft zijn teruggelopen. In dit laatste geval geldt rechts de gestippelde kromme.

al zeer sterk worden vervormd. De compensatie verschaft dus een waardevolle uitbreiding van het frequentiegebied waarin de versterker bruikbaar is.

De in fig. 6 afgebeelde karakteristiek *1*, die dank zij de genoemde maatregelen is verkregen, maakt de versterker geschikt voor het versterken van sinusvormige spanningen met frequenties van 1 tot 150 000 Hz. Voor kanteelspanningen geldt het frequentiegebied van 10 tot 10 000 Hz.

Dalen alle batterijspanningen tot op de helft, dan blijft de vorm van de karakteristiek onveranderd behalve aan de uiterste rechterzijde, dwz. bij de hoogste frequenties gaat de karakteristiek iets steiler omlaag (gestippeld in fig. 6).

Indien versterking nodig is van zeer lage spanningen, met frequenties binnen een smal gebied, heeft het zin de ruis te verminderen ten koste van de bandbreedte. Dit geval doet zich vaak voor bij onderzoekingen op mechanisch gebied, waar men te doen heeft met zeer lage frequenties en dus het hoogfrequentiegedeelte van het spectrum zonder bezwaar kan onderdrukken, waardoor men de ruisbijdrage van de hoge frequenties elimineert. Dat gaat al zeer gemakkelijk, door het inschakelen van de condensator $C_9$ (fig. 3). De ruisspanning, herleid op de ingang, bedraagt minder dan 10 μV als $C_9$ is uitgeschakeld, en minder dan 5 μV als $C_9$ is ingeschakeld. In dit laatste geval heeft de versterker tot karakteristiek de kromme *2* van fig. 6. Hij is dan geschikt voor het versterken van sinusvormige spanningen met frequenties tussen 1 en 1000 Hz en van kanteel- en impulsvormige spanningen met frequenties van 10 tot 50 Hz.

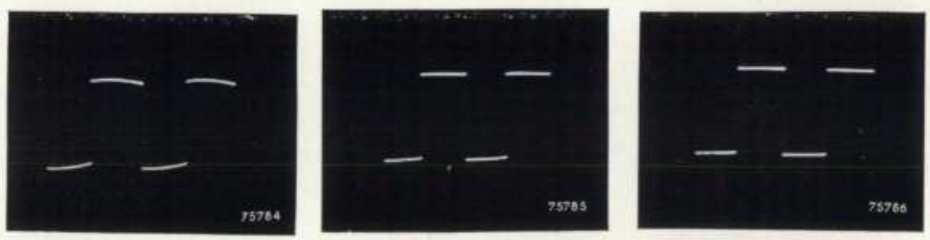
Om te voorkomen dat men bij het versterken van zeer lage spanningen last zou hebben van microfonie, is als maatregel hiertegen de plaat waarop de versterker is gemonteerd, verend in de kast bevestigd.

### Formering van de electrolytische condensatoren

Zoals al werd vermeld, worden de schermroosters gevoed over hoge weerstanden en ontkoppeld door electrolytische condensatoren ($C_4$ en $C_5$, fig. 3). Deze combinatie maakt enige bijzondere maatregelen nodig, die verband houden met de lekstroom van de condensatoren, doch waartegen het genoemde voordeel van electrolytische condensatoren (klein volume per μF) ruimschoots opweegt.

Als diëlectricum fungeert in een electrolytische condensator een huidje van aluminiumoxyde, waarmee de uit aluminium bestaande anode is bedekt [4]). Dit huidje ontstaat bij het formeringsproces, waarbij men gelijkstroom in de juiste richting door

[4]) W. Ch. van Geel en A. Claassen, Electrolytische condensatoren, Philips techn. T. **2**, 65-71, 1937.




*a* *b* *c*

Fig. 7. Oscillogrammen van de uitgangsspanning bij een kanteelvormige ingangsspanning, *a*) van 12,5 Hz, *b*) van 25 Hz en *c*) van 50 Hz. Bij 12,5 Hz is een lichte vervorming te zien (gevolg van overcompensatie door $C_8$, fig. 4), bij 25 Hz is de vervorming bijna, en bij 50 Hz geheel onmerkbaar. Opgenomen met een oscillograaf GM 5653.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



de condensator stuurt; aan de anode wordt dan zuurstof ontwikkeld, die het aluminium oxydeert. Naarmate men de gelijkspanning over de condensator hoger kiest, wordt het huidje dikker, de weerstand die het vormt, groter en de capaciteit van de condensator kleiner. Bij niet-gebruik van de condensator wordt het laagje ten dele afgebroken, zodat bij het onder spanning zetten na een lange rustperiode de lekstroom aanvankelijk groot is; al spoedig echter is het huidje opnieuw geformeerd, tot een dikte bepaald door de aangelegde spanning.

Uit een en ander volgt dat er moeilijkheden kunnen ontstaan wanneer men een volgens fig. 3 ingerichte versterker inschakelt. Dan kan namelijk door $C_4$ en $C_5$ een lekstroom gaan lopen die van dezelfde orde van grootte is als de schermroosterstroom (normaal 10 $\mu$A), zodat de gewenste schermroosterspanning (10 V) lang niet wordt bereikt. En bij de spanning van slechts enkele volts die dan over de condensator staat, is er niet veel kans dat door bijformering de lekstroom in korte tijd zal afnemen en de juiste toestand zich zal instellen.

Deze moeilijkheid is opgelost door de schakelaar — die toch nodig was voor het in- en uitschakelen van de gloeidraden en van de condensator $C_9$ — te voorzien van twee tussenstanden. Daarmee heeft de schakelaar vijf standen gekregen, die we achtereenvolgens zullen bespreken.

In de eerste stand („stand 0") zijn de drie gloeidraadketens onderbroken en is de anodebatterij afgeschakeld — dit laatste om ontlading door de lekstroom van de drie electrolytische condensatoren te voorkomen zolang de versterker buiten gebruik is.

In de tweede stand („stand I") wordt de in *fig. 8a* afgebeelde schakeling gevormd, waarin de drie electrolytische condensatoren zich op 45 V formeren via stroombegrenzende weerstanden. (Ook

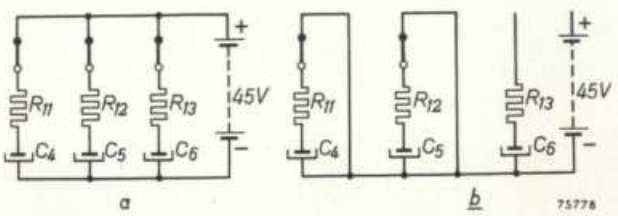



Fig. 8. *a*) In stand I van de schakelknop worden de electrolytische condensatoren $C_4$, $C_5$ en $C_6$, over voorschakelweerstanden $R_{11}$, $R_{12}$ en $R_{13}$, op 45 V geformeerd. *b*) In stand II worden $C_4$ en $C_5$ over $R_{11}$ resp. $R_{12}$ ontladen.

$C_6$ doet hieraan mee, om de anodebatterij de tijdelijk grote lekstroom te besparen die bij directe inschakeling door deze condensator zou lopen.) Na verloop van enige tijd (enkele seconden als de versterker kort, ongeveer een minuut als hij lang buiten gebruik is geweest) zijn de lekstromen zo klein geworden dat de condensatoren tot nagenoeg de spanning van de anodebatterij zijn geladen.

Indien men nu onmiddellijk overschakelde op de normale toestand (fig. 3), zou de schermroosterspanning van de eerste en de tweede buis, wegens de lading op $C_4$ en $C_5$, aanvankelijk 45 V zijn. Dit is veel hoger dan de eindwaarde, die slechts 10 V bedraagt. Er zou dus even een veel te grote schermroosterstroom lopen, die de buizen zou kunnen beschadigen. Daarom is de schakelaar zo ingericht dat in de derde stand („stand II") de condensatoren $C_4$ en $C_5$ over weerstanden worden ontladen (fig. 8*b*).

Pas in de vierde stand („stand 100 kc") komen $C_4$ en $C_5$ aan de schermroosters te liggen en $C_6$ rechtstreeks parallel aan de anodebatterij. Tevens zijn nu de gloeistroomketens van alle buizen gesloten en daarmee is de schakeling van fig. 3 tot stand gekomen. De versterker kan nu dus werken, en wel met de karakteristiek *1* van fig. 6. Na het formeren van $C_4$ en $C_5$ op 45 V, dat plaats vond met de schakelaar in stand I, hebben deze condensatoren bij de spanning van 10 V, die er nu op staat, een bijzonder kleine lekstroom. Bij deze lage spanning wordt echter het oxydehuidje op den duur dunner en de lekstroom dus groter. Daarom is het bij langdurig gebruik van de versterker aan te bevelen, de schakelaar van tijd tot tijd weer even in stand I te zetten, ten einde $C_4$ en $C_5$ opnieuw op 45 V te formeren. Bij veelvuldig gebruik zijn enkele minuten per twee weken hiervoor voldoende.

In de vijfde stand ten slotte („stand 1 kc") wordt $C_9$ ingeschakeld (zie fig. 3), waardoor de karakteristiek overgaat in kromme *2* van fig. 6 en het ruisniveau wordt verlaagd.

**Samenvatting.** Beschrijving van een voorversterker (type GM 4574) bestemd ter vergroting van de gevoeligheid van electronische voltmeters en oscillografen. Doordat subminiatuurbuizen worden gebruikt (drie penthodes DL 67), gevoed uit droge batterijen, is het toestel klein en licht gehouden. Het bevat twee trappen die elk een spanningsversterking van ca. 63× geven, en één trap in anodebasisschakeling met lage uitgangsimpedantie (kleiner dan 5000 ohm). Een sterke tegenkoppeling brengt de totale versterking in het vlakke deel van de karakteristiek op 100 ± 3%, maakt de versterking ongevoelig voor veranderingen van de buiseigenschappen en van de batterijspanningen (bij tot op de helft gedaalde batterijspanningen is de versterking ten hoogste 10% afgenomen) en vermindert de niet-lineaire vervorming. Het tegenkoppelnetwerk is zo ingericht dat het de frequentiekarakteristiek corrigeert. De versterking is als functie van de frequentie in een grafiek weergegeven. Ze bedraagt nagenoeg 100 in het grootste deel van het gebied van 1 tot 150 000 Hz, met een maximum van 112 bij 2 Hz en een daling tot 75 bij 150 000 Hz. Het frequentiegebied kan desgewenst worden versmald tot 1-1000 Hz. Voor het versterken van kanteel- en impulsspanningen loopt het brede frequentiegebied van 10 tot 10 000 Hz, het smalle van 10 tot 50 Hz. De op de ingang herleide ruisspanning bedraagt minder dan 10 $\mu$V bij het brede, en minder dan 5 $\mu$V bij het smalle gebied.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# EXPERIMENTELE OPSTELLING VAN EEN IONENVERSNELLINGSBUIS VOOR 1 MILLIOEN VOLT

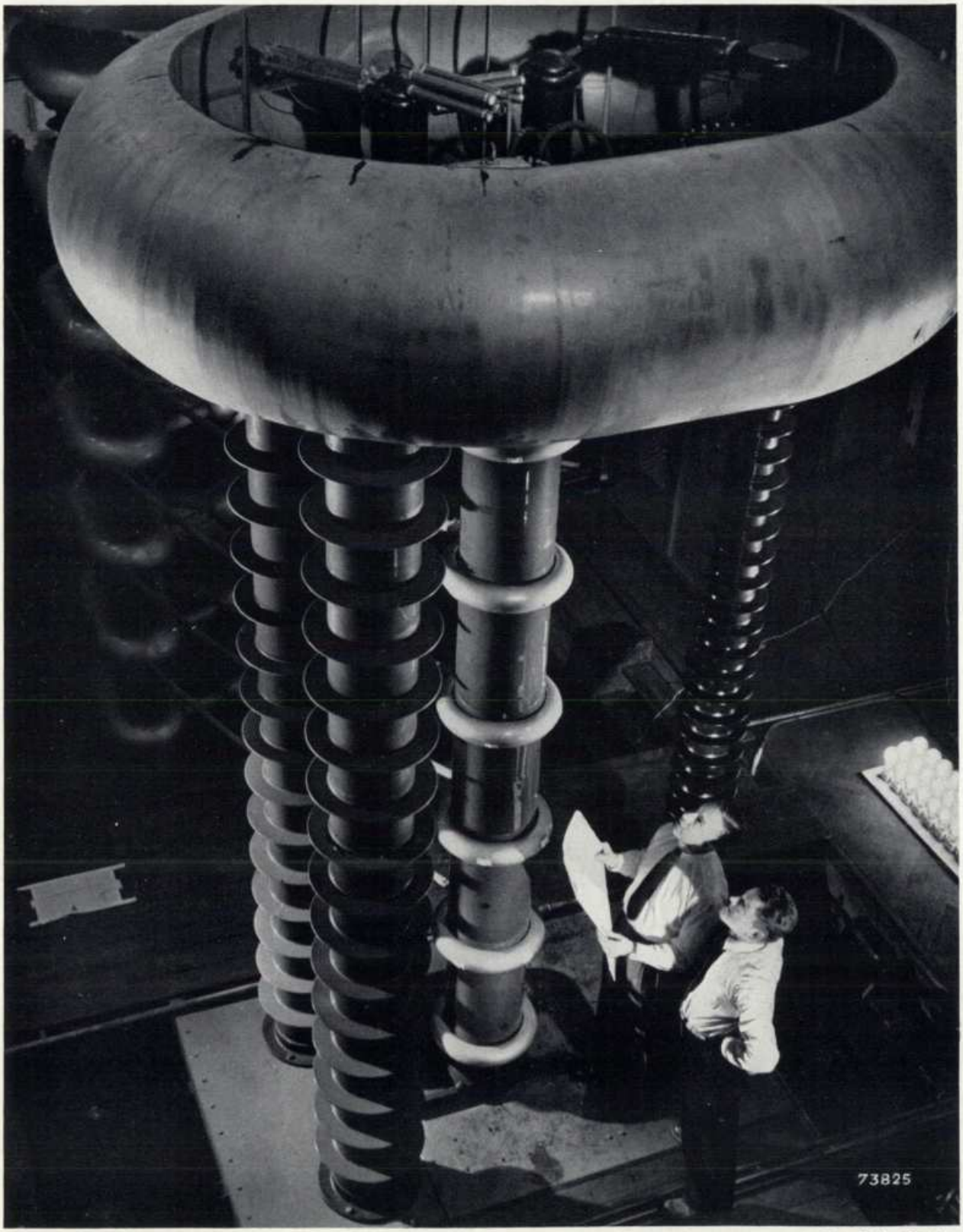



Foto Walter Nürnberg

Een bron voor waterstof- of deuteriumionen bevindt zich in de bovenste afschermkap, die door drie kolommen gedragen wordt. De ionen worden in de 4 m lange versnellingsbuis (in het midden) versneld. De cascadegenerator, die de versnellingsspanning van $10^6$ V opwekt, is op de achtergrond te zien.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# DRUPPELGROOTTE BIJ BOOGLASSEN BEPAALD UIT VERTRAAGDE FILMS

door P. C. van der WILLIGEN en L. F. DEFIZE. 621.791.75:778.534.83

*Bij het electrisch booglassen gaat het materiaal in de vorm van druppels over van de laselectrode naar het werkstuk. De grootte van deze druppels is mede bepalend voor de laseigenschappen van de electrode. Om over de druppelgrootte gegevens te verkrijgen, zijn films van de druppelovergang gemaakt met een camera die tot 3000 beelden per sec opneemt. Met dezelfde camera zijn bovendien kleurenfilms vervaardigd, die van het lasgebeuren in zijn geheel een goede indruk geven.*

## Inleiding

Onderzoekingen over de manier waarop bij het electrisch booglassen het materiaal overgaat van de laselectrode naar het werkstuk, hebben aan het licht gebracht dat dit meestal geschiedt in de vorm van vrije druppels gesmolten materiaal. Soms zijn de druppels zo groot dat zij kortsluiting veroorzaken terwijl zij van de electrode naar de laspoel overvloeien, zodat er zich dan geen vrije druppels vormen. De grootte van de druppels bepaalt voor een belangrijk deel de laseigenschappen van een electrode. Het is bekend dat kleine druppels een gladde lasrups opleveren en dat de boog stabieler brandt naarmate de druppels kleiner zijn. Dit laatste is vooral merkbaar bij het lassen met wisselstroom, waarbij de boog twee maal per periode moet worden ontstoken. Fijndruppelige electrodes smelten bovendien sneller af dan grofdruppelige, doordat een grove druppel meestal relatief lange tijd aan de electrode blijft hangen en dan het smelten van nieuw electrodemateriaal verhindert. Daarentegen maakt de lasser een dankbaar gebruik van een grofdruppelige electrode om de afstand tussen twee platen te overbruggen.

Het aantal electrodesoorten dat gefabriceerd wordt, is geleidelijk gegroeid en daarmee ontstond de behoefte om de druppelgrootte kwantitatief vast te leggen. Om hieraan tegemoet te komen, zijn in het Philips laboratorium te Eindhoven op dit gebied systematisch metingen verricht. Van de toegepaste methode vindt men hieronder een beschrijving. Als voorbeeld van de verkregen resultaten vergelijken wij daarna een ferrimantelelectrode en een gasmantelelectrode [1]) met de hiervan afgeleide Contactelectrodes. Daarnaast geven wij nog de uitkomsten voor een basische (beter: waterstofarme) electrode.

Voordat de basische en de Contactelectrodes hun intrede deden, de eerste soort voor, de tweede soort vlak na de laatste wereldoorlog, werden vrijwel uitsluitend de ferrimantel- en de gasmantelelectrodes gebruikt voor het lassen van zacht en laag-gelegeerd staal. De Philips lasstaven Philips 50 en Philips 48 zijn vertegenwoordigers van de laatstgenoemde soorten.

Basische lasstaven danken hun naam aan de omstandigheid dat voor de bekleding voornamelijk basische oxydes zijn verwerkt. Hun belangrijkste eigenschap is dat de bekleding weinig waterdamp afgeeft. Uit de waterdamp ontstaat nl. in de lasboog atomaire waterstof, die in het neergesmolten materiaal kan worden opgenomen en de kwaliteit daarvan benadeelt [2]). De basische lasstaven munten uit door goede mechanische eigenschappen en ongevoeligheid voor onzuiverheden (speciaal zwavel) in het te lassen materiaal. Zij moeten echter worden gelast met een zeer kleine booglengte, daar anders een poreuze las ontstaat. Dit stelt vrij hoge eisen aan de vakbekwaamheid van de lasser.

Contactlasstaven munten uit door het gemak waarmee zij gelast kunnen worden en bovendien door de grote lassnelheid [3]). Zij vormen eigenlijk geen nieuw type electrode in die zin dat de bekleding een nieuw type slak geeft, dat tot nu toe bij laselectrodes niet werd toegepast. Het principe ervan is veeleer een verandering van bestaande types op zodanige wijze dat zij geschikt worden voor het Contactlassen, dwz. dat de boog automatisch ontsteekt als men de bekleding in contact brengt met het werkstuk en dat men gedurende het lassen de staaf met haar bekleding op het werkstuk laat rusten. De bekleding wordt daartoe halfgeleidend en bovendien dikker gemaakt door een belangrijk deel van het metaal uit de kerndraad in fijn verdeelde vorm in de bekleding op te nemen.

## Meetmethode en apparatuur

Voor de bepaling van de grootte van de overgaande druppels hebben wij films opgenomen van de lasboog, een methode die men al vaak met succes heeft toegepast om de materiaalovergang van lasstaaf naar werkstuk te bestuderen. Daarbij is al spoedig gebleken dat de gebeurtenissen in de lasboog zich zo snel afspelen dat zeer grote filmsnel-

[1]) Voor een overzicht van eigenschappen en samenstelling van laselectrodes zie men bijv. J. D. Fast, De taak van de bekleding van lasstaven, Philips techn. T. **10**, 118-126, 1948, of P. C. van der Willigen, Lasstaven, Chemisch Weekblad **44**, 633-640, 1948.

[2]) J. D. Fast, Waterstofarme lasstaven, Philips techn. T. **14**, 86-91, 1952 (No. 3).

[3]) P. C. van der Willigen, Contactbooglassen; Inbranding en lassnelheid bij het Contactbooglassen, Philips techn. T. **8**, 161-167 en 304-309, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



heden (> 1500 beelden/sec) nodig zijn om deze te kunnen volgen [4]). Wij maakten gebruik van een Eastman „high-speed camera" type III, waarmee maximaal 3000 opnamen per seconde kunnen worden gemaakt op 16 mm film. Vertoont men de gemaakte films met de normale snelheid van 24 beelden/sec, dan betekent dit een vertraging tot 125 keer. De camera bereikt natuurlijk niet direct bij het inschakelen de topsnelheid, maar de snelheid neemt toe volgens de kromme van *fig. 1*. Om te weten welke snelheid bij elk deel van de filmopname hoort, hebben wij de lasboog met wisselstroom van 50 Hz gevoed. Daarbij wordt de stroomsterkte dus 100 maal per seconde nul en men ziet de lasboog eenzelfde aantal malen per seconde doven. Een bijkomend argument voor het maken van de opnamen met wisselstroom is dat men in de lastechniek steeds meer tot toepassing van wisselstroom overgaat, wegens de veel geringere last die tijdens het lassen wordt

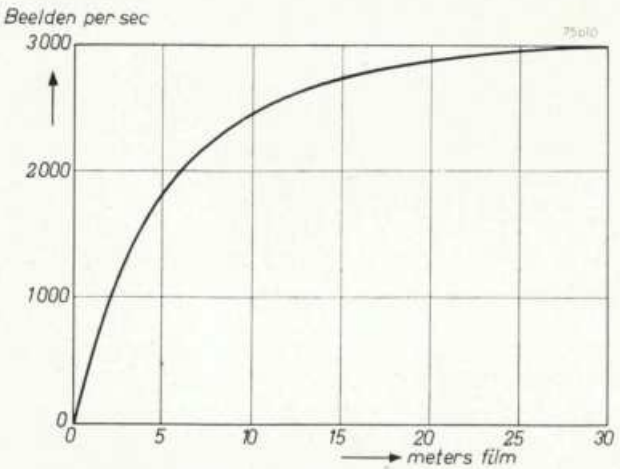



Fig. 1. Voor de bepaling van de grootte van de druppels die in de lasboog van een lasstaaf naar het werkstuk overgaan, werd een filmcamera gebruikt die tot 3000 opnamen per sec maakt. De kromme in deze figuur geeft aan hoe de camera, na het inschakelen, de topsnelheid bereikt.

ondervonden van de magnetische blaaswerking en wegens de lagere kosten van de aan te schaffen lasapparaten.

Zowel de nevels die om de lasboog ontstaan, als het licht dat deze boog zelf uitstraalt, veroorzaken moeilijkheden bij het opnemen van de films. De nevels konden in voldoende mate zijdelings worden afgevoerd door een luchtstroom langs de lasboog te blazen. Om geen last te ondervinden van het eigen licht van de boog, hebben wij achter de lasboog een krachtige lichtbron geplaatst (*fig. 2*). Voor deze lichtbron gebruikten wij aanvankelijk de 60 A spiegelbooglamp van een cinemaprojector. Hierbij werd het licht van de koolboog door een holle spiegel geconcentreerd om de lasboog, waardoor een achtergrond van constante, grote helderheid werd

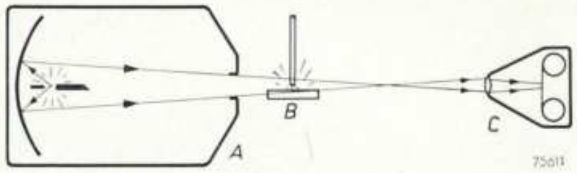
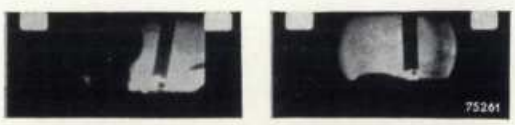



Fig. 2. Schema van de opstelling voor het filmen van de silhouetten van materiaaldruppels in een lasboog. Het licht van een koolboog *A* wordt door een holle spiegel geconcentreerd om de lasboog *B*, waardoor de druppels tegen een heldere achtergrond afsteken. *C* camera.

verkregen [5]). De lasboog stak bijna niet meer af tegen de achtergrond, waardoor de overgaande druppels als silhouetten konden worden gefilmd.

Daar de genoemde lichtbron een groot, vrij onhandelbaar apparaat is, hebben wij deze later vervangen door een met water gekoelde hogedrukkwiklamp, die gemakkelijk hanteerbaar is. Om het licht te concentreren, gebruikten wij daarbij een lens die tussen kwiklamp en lasboog werd opgesteld. Een extra voordeel van deze wijziging was dat zich dan geen storende objecten in de stralenbundel bevonden. Bij het gebruik van de koolboog met holle spiegel moesten wij er daarentegen steeds op letten dat er geen schaduw van één van de koolspitshouders juist op de lasboog viel (zie *fig. 3*).

*Fig. 4* geeft een overzicht van de opstelling met de kwiklamp. De laselectrode was zo opgesteld dat bij het afbranden de boog op dezelfde plaats bleef. De electrodehouder lag daartoe in het verlengde van de electrode en werd door vier geïsoleerde rolletjes geleid. Een motor trok het werkstuk dat gelast werd, met de juiste snelheid onder de lasboog door. Het bleek niet nodig aan de electrodehouder een inrichting aan te brengen om de lasboog automatisch een bepaalde constante




*a* *b*

Fig. 3. Verruiming van het gezichtsveld, verkregen door, in de opstelling volgens fig. 2, de spiegelbooglamp te vervangen door een hogedrukkwiklamp met lens.
*a*) Gezichtsveld bij gebruik van de spiegelbooglamp. Links ziet men de schaduw van één van de koolspitshouders.
*b*) Bij gebruik van de kwiklamp is de schaduw links verdwenen. Men ziet hier goed het silhouet van het kleine stukje lasrups dat reeds is gelegd.

[4]) A. Hilpert, Werkstoffübergang im Schweisslichtbogen, Z. Ver.dtsch. Ing. **73**, 798-799, 1929, of Welding J. **8**, 21, 1929 en **12**, 4-8, 1933.

[5]) Een dergelijke opstelling is het eerst gebruikt door L. Bull, zie M. Lebrun, La soudure électrique à l'arc et ses applications, Bibl. off. centr. acétylène et soud. autog., Parijs 1931, blz. 39-44.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



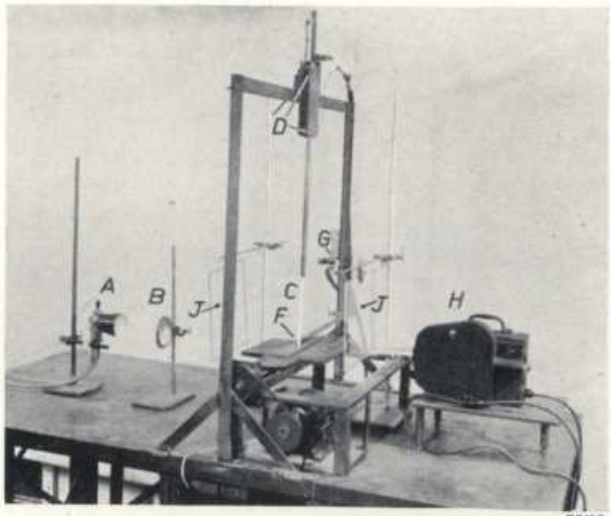



Fig. 4. Overzicht van de opstelling voor het filmen van de druppelovergang in een electrische lasboog. *A* met water gekoelde hogedrukkwiklamp, waarvan het licht door de condensorlens *B* geconcentreerd wordt om de lasboog, *C* lasstaaf (ter onderscheiding van de houder wit gemaakt met krijt), *D* geïsoleerde rolletjes waardoor de houder van de lasstaaf wordt geleid, *E* motor die het te lassen werkstuk langzaam onder de lasboog doortrekt, *F* opening (16 × 5 mm²) waardoor 20 liter lucht per minuut wordt geblazen om de lasdampen zijdelings af te voeren, *G* meter voor het bepalen van de luchtsnelheid, *H* filmcamera, die tot 3000 beelden/sec maakt, *J* verticaal opgestelde glasplaten, die camera en condensorlens tegen spatten beschermen.

lengte te geven. De booglengte werd gecontroleerd met behulp van een kijker met meetoculair en de camera werd gestart op het ogenblik waarop de boog de gewenste lengte had. Het bleek niet moeilijk voor een lasser om, gedurende de enkele seconden die een opname duurde (15 m film), de booglengte constant te houden.

Een zeer aantrekkelijke methode is de opnamen te maken met röntgenstralen [6]). Dit heeft het voordeel dat men op de röntgenfoto's kan zien wat bekleding of slak, en wat metaal is. Bovendien heeft men noch last van het licht van de boog zelf, noch van de lasnevels, zodat men hiertegen geen maatregelen behoeft te nemen. Voor zover ons bekend, is er tot op heden echter geen apparatuur ontwikkeld waarmee röntgencinematografische opnamen kunnen worden gemaakt van voldoend hoge beeldfrequentie. Uit de literatuur blijkt dat wel getracht wordt om, ook in de röntgenfilmtechniek, de beeldfrequentie op te voeren. Zo beschrijven Slack e.a. [7]) een toestel waarmee 150 beelden per sec kunnen worden opgenomen.

Om een overzicht te krijgen van de grootte van de druppels, zou het voldoende zijn te beschikken over een groot aantal snelle momentopnamen, die geen aaneensluitende film behoeven te vormen. De vertraagde film levert echter de mogelijkheid om het gehele proces van druppelvorming en materiaalovergang, en de vorm en de beweging van de lasboog, in detail te bestuderen.

[6]) J. Sack, A new method for the investigation of the transfer of material through the welding arc, The Iron and Steel Inst., Symp. on the welding of iron and steel, deel 2, 553-559, Londen 1935.
J. Sack, Lassen en lasstaven, Philips techn. T. **2**, 129-135, 1937.

[7]) C. M. Slack, L. F. Ehrke, D. C. Dickson en C. T. Zavales, High speed cine-radiography, Non-destr. Test., Spring 1949, blz. 7-11.

## Bepaling van de karakteristieke druppelgrootte

De afzonderlijke beeldjes van een film worden stuk voor stuk geprojecteerd. Op het projectiescherm meet men de diameters van de overgaande druppels en tevens de electrodediameter. Daar de ware electrodediameter bekend is, kan men dan ook de ware diameters van alle druppels berekenen.

Het is nodig, nu eerst de grootte te definiëren van de druppel die wij als karakteristiek voor een electrode kunnen aanzien. Omdat wij ons interesseren voor het materiaaltransport, dat bepaald wordt door de volumina van de druppels, ligt het voor de hand om van de waargenomen diameters over te gaan op de volumina. Het aantal druppels met volume $v_i$, dat men vindt, zij $n_i$. Men kan gemakkelijk inzien dat het normale gemiddelde druppelvolume, $\Sigma n_i v_i / \Sigma n_i$, niet geschikt is om genomen te worden als het volume van de karakteristieke druppel. Tegenover het zeer grote aantal kleine druppels zou dan de invloed van de grotere druppels, die juist het meeste tot het materiaaltransport bijdragen, geheel verloren gaan [8]). Dit bezwaar vervalt als iedere druppel een aantal keren in rekening wordt gebracht dat evenredig is met zijn volume, dwz. met de bijdrage die de druppel levert tot het materiaaltransport. Het karakteristieke druppelvolume wordt dan gedefinieerd door:

$$v_k = \frac{\Sigma n_i v_i^2}{\Sigma n_i v_i}.$$

De druppels zijn alle omgeven door een beschermend slakhuidje [9]). Het volumepercentage slak zal zeker variëren voor verschillende druppels. Om toch het volume van de slak globaal in rekening te brengen, hebben wij het gevonden karakteristieke druppelvolume verminderd met het (bekende) volumepercentage slak van de neergesmolten lasrups en het resultaat genomen als het karakteristieke volume van de ijzeren druppelkern. Hieruit volgt dan de karakteristieke diameter $d_k$ van deze druppelkern.

In *fig. 5* is als voorbeeld uitgezet het aantal waargenomen druppels als functie van de diameter voor een Contactelectrode C 18-4 [10]) (bij deze electrode bestaat 38% van het totale volume van de neergesmolten lasrups uit slak). Bij de Contactelectrodes treedt nog de complicatie op dat de grootte van de druppels niet uit de silhouetfilms kan worden

[8]) Er zal ook een gedeelte van het metaal verdampen. Strikt genomen zou men nu alle metaalatomen in de damp als afzonderlijke druppels in rekening moeten brengen. Dit aantal atomen is zo groot dat het gemiddelde druppelvolume practisch gelijk zou worden aan dat van één atoom.

[9]) Zie de in noot [6]) aangehaalde artikelen.

[10]) Het tweede getal in de aanduiding van een electrode geeft altijd de kerndiameter in mm aan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



bepaald indien men met deze electrode zo last als dat in de practijk gebeurt. Dan rust namelijk de rand van de bekleding op het werkstuk, en de ruimte die tussen bekleding en werkstuk openblijft is zo klein dat men de druppels niet kan volgen. Wij hebben daarom, voor de bepaling van de druppelgrootte, ook

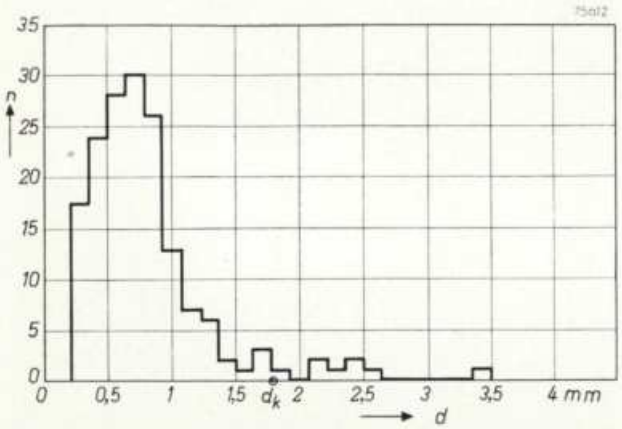



Fig. 5. Diameter van druppels die overgaan in de lasboog van een Contactelectrode C18-4, gelast met de vrije boog. Verticaal is uitgezet het aantal druppels waarvan de diameters vallen tussen de grenzen die door de bijbehorende intervallen (van $^1/_7$ mm breedte) op de abscis worden aangegeven (de karakteristieke diameter $d_k$ van de druppelkern is hier 1,8 mm). De filmbeelden werden bij deze meting 7 × vergroot geprojecteerd. Druppels met diameters kleiner dan $^3/_{14}$ mm (1,5 mm op het scherm) konden niet met zekerheid worden onderscheiden van andere vlekjes op de film en zijn daarom niet geteld.

de Contactelectrode met de vrije boog gelast. Het blijft een open vraag of, bij het Contactlassen, de karakteristieke druppel een andere grootte heeft. in het algemeen bij een grotere diameter $D$ van de kerndraad een grotere druppel verwacht, hebben wij, om het type lasstaaf te karakteriseren, de gevonden waarde van $d_k$ door $D$ gedeeld. Voor de Contactelectrodes is bovendien opgenomen de verhouding $d_k/D'$, waarin $D'$ de kerndraaddiameter is die een Contactelectrode zou krijgen indien al het ijzerpoeder uit de bekleding naar de kern werd overgebracht. (Bij de C 18 bevindt zich 24 % van het ijzer in poedervorm in de bekleding, bij de C 20 is dit 41%.)

### Bespreking van de resultaten

De gasmantelelectrode Philips 48 is een lasstaaf die ontwikkeld is om een grove druppel te geven. Uit de films blijkt dan ook dat bij de Philips 48 alleen materiaalovergang optreedt door kortsluiting van de boog (*fig. 6a* en *b*). Het is daarom zeer verrassend dat bij de C 18, die de Contactversie is van de Philips 48, uitsluitend materiaal blijkt over te gaan in de vorm van kleine vrije druppels (fig. 6*c*). De uitvoering als Contactelectrode heeft hier dus een belangrijke vermindering van de druppelgrootte tot gevolg. Bij de ferrimantelelectrode Philips 50 en haar Contactversie C 20 treedt echter juist het omgekeerde effect op. Uit de tabel blijkt dat de verhouding $d_k/D'$ voor de C 20 bijna twee maal zo groot is als de waarde $d_k/D$ voor de Philips 50. Deze effecten zijn nog niet verklaard.

De verhouding $d_k/D'$ is voor de C 18 en de C 20

**Tabel.** Diameter van de ijzeren kern van de karakteristieke druppel voor enige soorten laselectrodes.

| Type electrode | stroom ampère | boog-spanning volt | boog-lengte mm | aantal druppels per sec | $d_k$ mm | $d_k/D$ | $d_k/D'$ (voor Contact-electrodes) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C 18-4 | 180 | 45 | 4,8 | 185 | 1,9 | 0,47 | 0,41 |
| ,, | 180 | 47 | 6,6 | 133 | 2,0 | 0,50 | 0,44 |
| ,, | 165 | 42 | 6,1 | 145 | 1,8 | 0,44 | 0,38 |
| C 20-4 | 190 | 35 | 6,1 | 91 | 2,3 | 0,58 | 0,44 |
| Philips 50-5 | 200 | 35 | 4,8 | 162 | 1,3 | 0,26 | |
| Philips 56-5 | 230 | 37 | 8,0 | 29 | 2,7 | 0,54 | |
| ,, | 230 | 37 | 6,2 | 32 | 2,8 | 0,56 | |
| ,, | 230 | 38 | 5,3 | 42 | 3,3 | 0,66 | |
| ,, | 200 | 38 | 5,5 | 24 | 2,6 | 0,53 | |

In de *tabel* zijn de gevonden waarden weergegeven voor de Contactelectrodes C 18-4 en C 20-4 en voor de ferrimantelelectrode Philips 50-5, waarvan de Contactelectrode C 20 is afgeleid. Ook zijn enige resultaten opgenomen van metingen aan de basische (waterstofarme) electrode Philips 56-5. Omdat men vrijwel gelijk. Opvallend is nog dat bij de C 18 een veel groter percentage druppels van de kleinste soort is gevonden dan bij de andere electrodetypes die wij hebben onderzocht. Bij de berekening van $d_k$ spelen deze kleinste druppels echter een ondergeschikte rol.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Het vloeibare metaal aan het uiteinde van de electrode Philips 50 en in de laspoel is zeer bewegelijk. Dit feit en het gering zijn van de druppelgrootte (de kleinste die wij hebben gevonden) hangen samen met het betrekkelijk hoge FeO-gehalte van het gesmolten metaal (ca. 0,04%), waardoor de viscositeit en de oppervlaktespanning van het vloeibare ijzer sterk worden verlaagd. De overgaande druppels hebben een onregelmatige vorm.

De basische electrode Philips 56 heeft de grootste druppels (fig. 6*d* en *e*). Karakteristiek voor deze electrode is ook de ronde vorm van deze druppels. Het is bekend dat het FeO-gehalte van het vloeibare metaal bij het basische type zeer laag is (0,001%), waardoor viscositeit en oppervlaktespanning groot zijn.

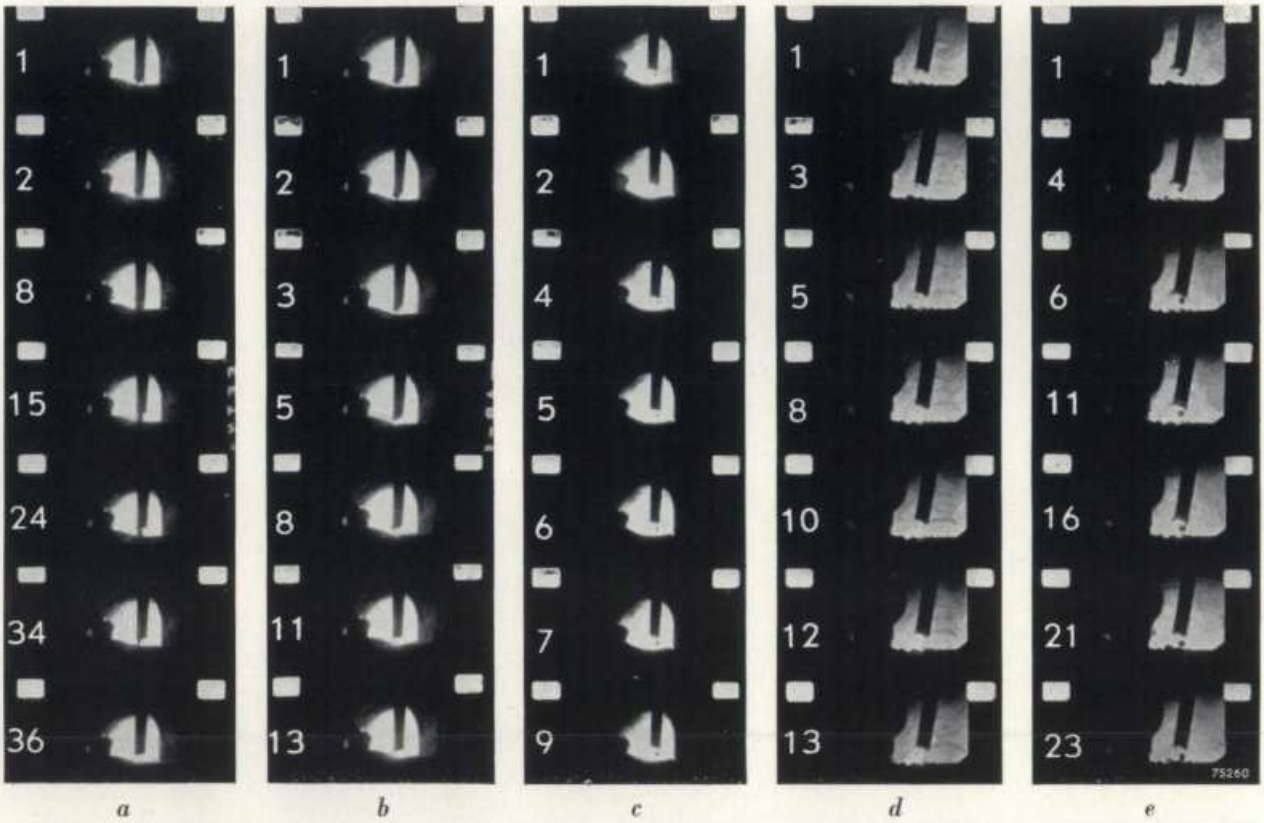



Fig. 6. Silhouetfilms van de druppelovergang bij het electrisch booglassen. Verscheidene tussenliggende beeldjes in elke strook zijn weggelaten, wat blijkt uit de nummering van de beeldjes. De reproducties geven slechts zeer onvolkomen de indruk weer die de vertoonde film geeft. Bijv. is het al of niet branden van de lasboog in de reproducties nauwelijks meer zichtbaar, terwijl men, bij afdraaien van de film, de boog aan en uit ziet gaan.

*a*) Materiaalovergang bij de gasmantelelectrode Philips 48-5. Duidelijk ziet men de kortsluiting van de boog, die begint op een ogenblik dat de wisselstroom door nul gaat en die hier bijna één periode ($^1/_{50}$ sec) duurt. Filmsnelheid 2000 beeldjes per sec.

*b*) Nog enige opnamen van de Philips 48-5. In beeld 1, 2 en 3 is de boog uit (stroom gaat door nul). In beeld 2 is er even kortsluiting maar er treedt geen materiaalovergang op. Men ziet in de beelden 5, 8, 11 en 13 dat de boog een druk, de kathodevlekdruk, uitoefent op de druppel, waardoor deze vervormd wordt (zie H. von Conrady, Der Werkstoffübergang im Schweisslichtbogen, Elektroschweissung **11**, 109-114, 1943).

*c*) Bij de Contactelectrode C 18-4 die afgeleid is van de Philips 48, geschiedt de materiaalovergang door kleine vrije druppels. Er werd gelast met de vrije boog.

*d*) Opnamen van een waterstofarme (basische) laselectrode, de Philips 56-5. Men ziet twee vrije druppels, waarvan de bovenste de afmetingen heeft van de karakteristieke druppel ($d_k/D = 0{,}57$). Alleen in beeld 3 is de boog geheel gedoofd.

*e*) Nog enige opnamen van de Philips 56-5. Hier ziet men een zeer grote druppel overgaan. De boog is uit in de beelden 1 en 24. De 24 beelden bestrijken een halve wisselstroomperiode ($^1/_{100}$ sec).

Ook Sack heeft de druppelgrootte van de types Philips 50-5 en Philips 48-5 gemeten en wel door snel over een koperen plaatje te lassen, waardoor de druppels gescheiden werden opgevangen [11]). Deze druppels, van hun slakhuidje ontdaan, werden naar hun gewicht gesorteerd, en hieruit bepaalde hij op analoge wijze als hier is gedaan de karakteristieke diameters van de

[11]) J. Sack, Lassen boven het hoofd, Philips techn. T. **4**, 9-15, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



druppelkernen. Voor de Philips 50-5 vond hij $d_k/D = 0{,}7$, dus een ruim twee maal zo grote waarde als wij hebben gevonden. Het is echter zeer waarschijnlijk dat men bij deze methode niet de werkelijke druppels op de plaat krijgt, doch grotere, die ontstaan door ineenvloeien van enkele druppels alvorens zij stollen. Bij de Philips 48-5 vond Sack ook druppels ($d_k/D = 0{,}9$), wat begrijpelijk is. De door hem gevolgde methode leent zich er immers niet toe te constateren of materiaalovergang met kortsluiting van de boog gepaard gaat.

## Het „optische rendement"

Om te controleren of op de film de materiaalovergang ook quantitatief werd waargenomen, hebben wij uit de gemeten druppeldiameters bepaald hoe groot het volume materiaal (ijzer plus slak) is dat per seconde overgaat. De uitkomst hebben wij gedeeld door het volume ijzer plus slak per seconde dat door weging van de neergesmolten hoeveelheden ijzer en slak, met behulp van de bekende soortelijke gewichten, werd bepaald. Voor de C 18-4 blijkt dit „optische rendement", zoals het behoort, 100% te zijn. Bij de basische electrodes vinden we echter 150-200%, bij de Philips 50 slechts 50%. Door de druppels van de basische electrodes in een kunstharsmassa te persen en daarna door te snijden, konden wij aantonen, dat deze druppels vaak inwendige holten bevatten. Daardoor zien we op de film een groter druppelvolume dan er in werkelijkheid is. (Bij het normale lassen, waarbij de druppels zich in de vloeibare poel verenigen, verdwijnen de holten geheel.) Bij de Philips 50 is klaarblijkelijk een aantal druppels niet waargenomen. Vermoedelijk zijn dit vele kleine druppeltjes, die onzichtbaar zijn geworden door nevels of doordat hun silhouetten niet meer kunnen worden onderscheiden van onregelmatigheden in de film. Het gevolg hiervan zou zijn dat de voor deze electrode gevonden, toch al kleine waarde van $d_k$, in werkelijkheid nog kleiner is.

## Kleurenfilms

Behalve de silhouetfilms hebben wij ook films gemaakt met het doel een overzicht te krijgen van het gehele lasgebeuren. Op advies van Prof. J. Brillié te Parijs zijn deze films in kleuren opgenomen. Lichtbron, lasboog en camera waren bij de opnamen onder een stompe hoek opgesteld (*fig. 7* en *8*). Ten einde zoveel mogelijk gereflecteerd licht in de camera te krijgen, werd het oppervlak van het werkstuk telkens gladgeschuurd, maar ondanks deze maatregel ging er bij de reflectie zoveel licht verloren dat de lasboog veel helderder was dan de omgeving.

Het voordeel van de opstelling onder een hoek is dat de vloeibare poel metaal onder de lasboog, met de erop aanwezige laag vloeibare slak, goed zichtbaar is. Hierdoor krijgt men, mede dank zij de min of meer natuurlijke kleuren, een goed ruimtelijk beeld van het gehele lasgebeuren. Een voordeel van de kleurenfilm is nog dat door de gelaagde structuur de film vrij ongevoelig is voor halo-effecten bij fotograferen tegen de lichtbron in. Het halo-effect is bij zwart-witfilms hinderlijk bij het begin van een opname, als de camera nog niet op toeren en dientengevolge de belichtingstijd te lang is.

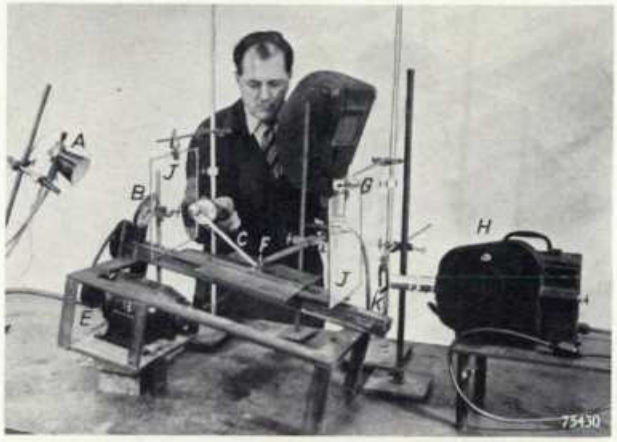



Fig. 8. Overzicht van de opstelling waarmee de verschijnselen in de kelk van een Contactelectrode werden gefilmd. De film van fig. 9c is op deze wijze verkregen. Voor de betekenis der letters *A* tot en met *J* zie fig. 4. *K* filter (Scott GG 3). De laselectrode is weer wit gemaakt. De las wordt hier gelegd in het vlak door de lichtbron *A* en de optische as van de camera, in tegenstelling tot het geval van fig. 7, waar de las loodrecht op dit vlak wordt gelegd.

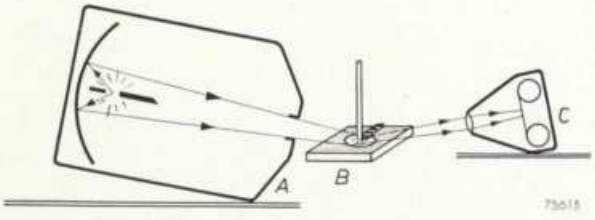



Fig. 7. Schema van de stralenloop bij de opnamen met gereflecteerd licht, bij gebruik van een spiegelbooglamp *A* als lichtbron. Hierbij werden de films in kleuren opgenomen. *B* lasboog, *C* camera.

In *fig. 9* zijn enige beelden gereproduceerd uit een drietal van deze kleurenfilms, nl. één van een electrode met vrije boog en twee van Contactelectrodes, waarmee hier ook werkelijk slepend gelast wordt. Deze films demonstreren het rustiger branden van de boog en de geringere spatverliezen bij de Contactelectrodes. Tevens geven zij informatie over de vorm van de boog. Door films, opgenomen met een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

*a* *b* *c*

Fig. 9. Enige beelden (niet alle aaneensluitend) uit een drietal kleurenfilms van het electrisch booglassen met wisselstroom. Het verschil in kleur van de verschillende films is veroorzaakt door het gebruik van verschillende filters. (*a*) en (*b*) zijn gemaakt met de opstelling volgens het schema van fig. 7, (*c*) met de opstelling volgens fig. 8.

*a*) Philips 50-5. In het bovenste en in het onderste beeld is de boog net weer ontstoken nadat de wisselstroom door nul is gegaan. Door de luchtstroom, die de lasnevels wegblaast, wordt de boog nog enigszins weggeblazen. In het op één na onderste beeld is de boog uit (stroom gaat door nul). Men lette op de spatten rechts op de film.

*b*) C 20-4, de Contactelectrode die van de Philips 50 is afgeleid. De electrode wordt hier slepend gelast. De lasboog is bijna geheel door de bekleding omsloten en brandt daardoor zeer rustig. Men ziet geen spatten. Ook ondervindt de boog geen invloed van de luchtstroom die de nevels verdrijft. De boog kan een veel grotere windsnelheid verdragen dan de Philips 50 voordat hij gaat „stotteren". De stroom gaat door nul (boog gedoofd) in het tweede beeld van boven.

*c*) Opname van een Contactelectrode, slepend gelast, die zo sterk achterover wordt gehouden dat men in de kelk kan kijken. De boog is uit in het bovenste en bijna uit in het op één na onderste beeld. Het is duidelijk zichtbaar dat de boog uitgaat van de kern van de electrode en dat, ongeacht de richting van de stroom, de boog naar het werkstuk toe kegelvormig breder wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



sterk achteroverhellende Contactelectrode, zodanig dat men in de kelk kijkt (zie fig. 8 en fig. 9c), is bovendien bevestigd dat het einde van de kerndraad voortdurend met een laag slak is bedekt.

**Samenvatting.** In het Philips laboratorium te Eindhoven zijn systematisch metingen verricht over de grootte van de materiaaldruppels die van een laselectrode overgaan naar het werkstuk. Daartoe zijn films gemaakt van de lasboog met een beeldfrequentie tot 3000 per seconde. De achtergrond werd daarbij zo helder gemaakt dat de druppels als silhouetten werden opgenomen, ondanks het felle licht dat de lasboog zelf uitstraalde. Enige meetresultaten komen ter sprake.

Behalve de silhouetfilms zijn, met dezelfde beeldfrequentie, ook films gemaakt die een algemeen overzicht geven van het lasproces. Deze films zijn in kleuren opgenomen. Enkele bijzonderheden die men op deze films kan opmerken, worden kort besproken.

## BOEKBESPREKING

**Television Receiver Design,** Monograph 1, I. F. Stages, door A. G. W. Uitjens, 177 blz., 123 figuren *). — Philips Technische Bibliotheek, deel VIII A in de serie over Electronenbuizen, 1953.

Dit is het eerste deel van een serie waarin de verschillende problemen worden behandeld die zich bij het ontwerpen van een televisieontvanger voordoen. Het is een goede gedachte geweest, op deze wijze in de Philips Technische Bibliotheek de bestaande literatuur over de nog betrekkelijk jonge televisietechniek uit te breiden. In het onderhavige werk behandelt de schrijver de middenfrequentieversterker van een superheterodyneontvanger voor televisie. Het spreekt van zelf dat zijn beschouwingen ook gelden voor de hoogfrequentieversterker van een ontvanger zonder frequentietransformatie.

Zoals men in een boek uit de serie over Electronenbuizen mag verwachten, worden de zo belangrijke eigenschappen der versterkbuizen uitvoerig en duidelijk behandeld.

In het eerste hoofdstuk wordt het begrip *GB*-product (het product van trapversterking en bandbreedte) geïntroduceerd en worden de correctiefactoren afgeleid die bij de berekening van practische schakelingen gebruikt moeten worden.

De tweepolige koppelnetwerken tussen de versterkbuizen worden in het tweede hoofdstuk behandeld. Hier wordt de lezer vertrouwd gemaakt met de cascadeschakeling van op dezelfde frequentie afgestemde enkele kringen en met de versterkers met zg. verscherfde kringen.

In het derde hoofdstuk wordt op duidelijke wijze de invloed van de frequentie- en de fazekarakteristiek op de vervorming van de sprongkarakteristiek van de versterker aangetoond, zowel voor systemen met twee zijbanden als voor de in de televisietechniek algemeen in gebruik zijnde asymmetrische zijbandsystemen.

De vierpolige koppelnetwerken komen in het vierde hoofdstuk aan de beurt. De schrijver voert hier het begrip overdrachtsadmittantie in, waardoor dezelfde rekenwijze als bij de tweepolige koppelnetwerken kan worden gevolgd.

Zeer belangrijk is de signaal-ruisverhouding van een versterker. In het vijfde hoofdstuk worden ruim twintig bladzijden aan dit onderwerp gewijd. De verschillende ruisbronnen worden behandeld en men vindt er berekeningen van de ruisfactor van enige schakelingen. Ook wordt nagegaan op welke wijze de signaal-ruisverhouding kan worden verbeterd.

In de ruim dertig bladzijden van het zesde hoofdstuk behandelt de schrijver de terugwerking als gevolg van ongewenste koppelingen tussen de netwerken en de terugwerking door de versterkbuizen. Aangetoond wordt dat men maatregelen kan treffen om de ongewenste gevolgen van deze terugwerking te verkleinen.

In het zevende en laatste hoofdstuk wordt aangetoond hoe men, gebruik makend van de formules uit de voorgaande hoofdstukken, een middenfrequentieversterker met verscherfde kringen kan ontwerpen.

Daarna volgt een aanhangsel, waarin enige belangrijke algemene formules worden afgeleid en waarin overzichtelijke tabellen met karakteristieke grootheden van buizen en schakelingen zijn opgenomen.

W. WERNER.

*) Het ligt niet in het voornemen, dit boek ook in het Nederlands uit te geven. Een Duitse editie kan tegen het eind van dit jaar worden tegemoetgezien.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# FOTOMETRIE BIJ KLEINE HELDERHEDEN

door W. de GROOT. 535.24

*De vaststelling, door de Commission Internationale de l'Eclairage (Stockholm 1951), van een ooggevoeligheidsfunctie voor het donker-geadapteerde oog (scotopische ooggevoeligheid) en de daarbij gehouden discussies richten opnieuw de aandacht op het probleem der fotometrie bij lage verlichtingsniveaus en overeenkomstig kleine helderheden. Hier wordt van dit probleem een overzicht gegeven, dat als een aanvulling kan worden beschouwd van vorige artikelen over dit onderwerp *).*

## Fotometrie

Indien een oppervlak, bijv. een diffuus reflecterend wit scherm, getroffen wordt door straling met golflengte(n) tussen 0,4 en 0,7 $\mu$ en het oog van een waarnemer op dit oppervlak wordt gericht, dan zal de waarnemer — mits het vermogen van de straling niet te gering is — van het scherm een lichtindruk ontvangen en zich een oordeel kunnen vormen over de helderheid.

Deze, subjectieve, helderheidsindruk is van een aantal omstandigheden afhankelijk, waarvan de voornaamste zijn:

1) het vermogen dat het scherm per eenheid van oppervlakte treft en de spectrale verdeling van de straling;
2) de helderheid van naburige delen van het gezichtsveld en de adaptatietoestand van het oog;
3) het deel van het netvlies dat bij de waarneming betrokken is.

Op 1) komen wij aanstonds terug. Als voorbeeld van de onder 2) genoemde invloeden denke men aan het waarnemen van de maan bij nacht en bij dag. Zien we bij dag de maan aan de heldere hemel staan, dan nemen we haar waar als een bleke vlek op een lichtblauwe ondergrond. Na zonsondergang kan dezelfde maan ons voorkomen als een verblindend witte schijf op donkere ondergrond. Toch is de straling die de maan ons toezendt onveranderd gebleven; alleen de helderheid van de omringende hemel is kleiner geworden [1]).

Als voorbeeld van 3) kan het bekende verschijnsel gelden dat een zwakke lichtbron in het donker niet of veel zwakker gezien wordt als wij trachten de blik erop te richten. Dit komt doordat de fovea, het centrale deel van het netvlies, bij kleine helderheden veel minder lichtgevoelig is dan de omgeving van de fovea, de zg. parafovea, en de rest van het netvlies, de zg. periferie.

In de fotometrie abstraheert men zich tot op zekere hoogte van deze variabiliteit van de helderheidsindruk doordat men zich ertoe bepaalt ongeveer gelijke helderheidsindrukken met elkaar te vergelijken.

De daartoe bestemde instrumenten (fotometers) zijn zo ingericht dat het oog twee aan elkaar grenzende vlakjes waarneemt, waarvan het ene verlicht is door de te onderzoeken lichtbron en het andere ter vergelijking dient en daartoe met regelbare intensiteit door een lichtbron is verlicht. Met het oog op het onder 2) en 3) gezegde moet ervoor gezorgd worden dat de beide vlakjes in dezelfde conditie zijn wat betreft hun omgeving en wat betreft het deel van het netvlies dat aan de waarneming deelneemt.

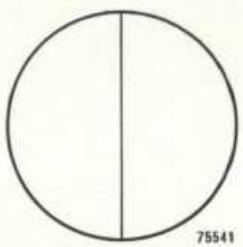



Fig. 1. Fotometerveld (diameter 2° in het photopische, 6° tot 10° in het scotopische gebied).

De vlakjes kunnen bij voorbeeld de beide helften zijn, aan weerszijden van de middellijn, van een cirkelvormig veld (*fig. 1*). De omgeving van dit veld kan donker gemaakt worden of bijv. een helderheid hebben ongeveer gelijk aan de te meten helderheid.

De gezichtshoek waaronder het cirkelvormige fotometerveld gezien wordt, zal naar omstandigheden worden gekozen. Bij grote helderheden — in het gebied waar kleurenzien mogelijk is — kiest men meestal een gezichtshoek van 2°, zodat alleen de fovea en de naaste omgeving daarvan aan de waarneming deelnemen. Bij kleine helderheden zal men wegens de geringe gevoeligheid van de fovea

*) Zie: P. J. Bouma, Philips techn. T. **1**, 120-125, 142-146, 1936; G. Heller, Philips techn. T. **5**, 1-5, 1940; W. de Groot, Philips techn. T. **10**, 153-156, 1948.

[1]) Zelfs is de straling die we overdag van de maanschijf ontvangen groter, doordat op het licht van de maan zelf dat van de blauwe hemel ter plaatse is gesuperponeerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



een grotere gezichtshoek kiezen, bijv. van 6° tot 10°, zodat de invloed van de fovea kan worden verwaarloosd en de waarneming hoofdzakelijk door de parafovea tot stand komt.

**Invloed van de intensiteit en de spectrale verdeling van de straling**

Wij komen nu tot de boven onder 1) genoemde invloeden en beschouwen eerst het geval van grote helderheden (dwz. luminanties groter dan ca. 3 cd/m²).

*Grote helderheden*

Bij zulke helderheden krijgt men van een verlicht vlak niet alleen een indruk van helderheid maar ook van kleur. Helderheidsindruk en kleurindruk zijn daarbij moeilijk van elkaar te scheiden. Als men in een fotometer twee vlakjes te vergelijken krijgt waarvan bijv. het ene monochromatisch groen, het andere monochromatisch rood licht uitstraalt, valt het niet gemakkelijk te beoordelen of de helderheid van de vlakjes gelijk is of verschillend, alhoewel hierin toch wel enige oefening kan worden verkregen.

Men neemt in zulke gevallen vaak zijn toevlucht tot een zg. „stap voor stap"-methode. Men vergelijkt het groene vlakje eerst met een ander, waarvan de kleur iets in de richting van geelgroen is verschoven, en dit weer met een vlakje dat een nog meer naar het geel verschoven kleur vertoont, enz., totdat men bij rood aangeland is. Bij geringe kleurverschillen is de instelling op gelijke helderheid namelijk veel minder onzeker. Gaat men zo het gehele spectrum door, dan zal men bemerken dat de vermogens $P_\lambda$ die per oppervlakte-eenheid en per eenheid van ruimtehoek in de richting van het oog moeten worden uitgestraald om twee-aan-twee eenzelfde helderheidsindruk te doen waarnemen, voor ieder golflengtepaar verschillend zijn. Voor een bepaalde golflengte $\lambda_m$, in de buurt van 555 mμ (5550 Å), is het benodigde vermogen minimaal. Het quotient $P_{\lambda m}/P_\lambda = v(\lambda)$ noemt men de ooggevoeligheid van de waarnemer bij de golflengte $\lambda$; voor $\lambda = \lambda_m$ is $v(\lambda)$ dus gelijk aan 1, voor andere golflengten kleiner dan 1.

Herhaalt men de proef met dezelfde waarnemer bij een hoger helderheidsniveau, dan blijken dezelfde waarde van $\lambda_m$ en dezelfde functie $v(\lambda)$ te worden gevonden. In het gebied der grote helderheden is dus $v(\lambda)$ onafhankelijk van het helderheidsniveau. Wèl vindt men verschillende functies $v(\lambda)$ met verschillende waarden van $\lambda_m$ indien men de proef herhaalt met verschillende waarnemers. De C.I.E. (Commission Internationale de l'Éclairage) heeft daarom in 1924 voor het gebied der grote helderheden een ooggevoeligheidsfunctie gestandaardiseerd, die wordt geacht te gelden voor een „normale waarnemer". Wij zullen deze functie aanduiden met $V_p(\lambda)$, omdat het gebied der grote helderheden ook wel het photopisch gebied [2]) wordt genoemd. De bijbehorende waarde van $\lambda_m$ zullen wij aanduiden met $\lambda_p$.

Tenzij het tegendeel uitdrukkelijk is vermeld, nemen wij in het vervolg aan dat wij te maken hebben met een „normale waarnemer".

Heeft men niet te maken met een monochromatische straling, maar met een lichtbron met spectrale verdeling $P'(\lambda)$, waarbij $P'(\lambda)\,d\lambda$ het in het golflengtegebied $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ in de richting van het oog uitgestraalde vermogen (per m² en per steradiaal) voorstelt [3]), en is de helderheidsindruk in de fotometer gelijk aan die van een vermogen $P_m$ bij de golflengte $\lambda_m$, dan leert het experiment dat

$$P_m = \int P'(\lambda)\, V_p(\lambda)\, d\lambda. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

De uitdrukking ter rechterzijde kan dus, met een geschikte factor vermenigvuldigd, tevens als maat dienen voor de helderheid. De hierbij gebruikelijke eenheid is de candela per m² (cd/m²) of nit. Indien de helderheid op de aangegeven wijze wordt vastgelegd, en bij voorkeur in deze eenheid wordt gemeten, duidt men deze grootheid aan met de naam luminantie ($L$). De eenheid cd/m² is zo gekozen dat een zwart lichaam met de temperatuur van stollend platina (≈ 2042 °K) een luminantie bezit van $6{\cdot}10^5$ cd/m².

In verband met de spectrale verdeling van het bedoelde zwarte lichaam kan men hieruit de waarde van de constante $K_p$ vinden die optreedt in de formule voor de luminantie:

$$L = K_p \int P'(\lambda)\, V_p(\lambda)\, d\lambda \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

De waarde van $K_p$ is ongeveer 650 lm/W [4]).

[2]) Van Grieks photos = licht en opsis = het zien, in tegenstelling tot scotopisch, van Grieks skotos = duisternis (zie onder).

[3]) In de literatuur vindt men vaak het symbool $E(\lambda)$. Wij geven hier de voorkeur aan de letter $P$ omdat het een vermogen betreft en niet een energie, en wij voorzien deze letter van een accent om eraan te herinneren dat $P'(\lambda)$ niet de dimensie heeft van een vermogen maar van een vermogen per eenheid van (golf)lengte en dus het karakter heeft van een differentiaalquotient van $P$ naar $\lambda$.

[4]) Legt men aan de berekening de stralingsformule van Planck ten grondslag, met $c_2 = 14\,385$ μ·°K en de optisch-pyrometrisch bepaalde stollingstemperatuur van platina, gebaseerd op deze waarde van $c_2$ en op de internationaal aangenomen temperatuur van het smeltpunt van goud, $T_{Au} = 1336$ °K, dan vindt men voor $K_p$ de waarde 683 lm/W (zie Philips techn. T. **10**, 153-156, 1948), welke hoger is dan de waarde die uit directe experimentele gegevens volgt (ca. 630 lm/W). Dit wijst er vermoedelijk op dat de ware smelttemperatuur van goud hoger is dan de officiële waarde, namelijk ca. 1340 °K. (Zie ook: F. Henning, Temperaturmessung, Barth, Leipzig 1951, pp. 140 en 256; W. de Groot, Physica **16**, 419, 1950.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



*Kleine helderheden*

Indien men de boven beschreven proeven met dezelfde waarnemer herhaalt bij een luminantie kleiner dan 3 cd/m², dan bemerkt men dat de golflengte $\lambda_m$ naar kleinere waarden verschuift. Deze verschuiving is daarbij nog afhankelijk van het deel van het netvlies dat bij de waarneming is betrokken [5]). Voor de fovea is de verschuiving gering, maar bij afnemende intensiteit houdt het vermogen van de fovea om licht waar te nemen spoedig op. Voor de periferie valt reeds bij grote helderheden de golflengte $\lambda_m$ niet samen met de voor de fovea geldende waarde van $\lambda_p$. Bij afnemende intensiteit verschuift $\lambda_m$ naar kleinere waarden. Richt men de proef zo in dat bij grote helderheden hoofdzakelijk met de fovea wordt waargenomen en dat bij kleinere helderheden de parafovea op een zeer bepaalde wijze gelegenheid krijgt mede te doen aan het fotometrische proces (bijv. door geleidelijke vergroting van de gezichtshoek), dan kan men zeggen dat de waarde van $\lambda_m$ zich geleidelijk van de photopische waarde $\lambda_p$ naar kleinere waarden verplaatst. Bij de kleinste helderheden die kunnen worden waargenomen, komt deze verschuiving tot stilstand. De golflengte $\lambda_m$ heeft dan een waarde van ongeveer 507 mμ aangenomen, die wij verder aanduiden met $\lambda_s$, omdat het gebied der zeer kleine helderheden ook wel het scotopische gebied wordt genoemd (zie noot [2])). Bij iedere waarde van het vermogen $P_m$ behoort bij een speciale proef een waarde van $\lambda_m$ en een ooggevoeligheidsfunctie $V(\lambda_m,\lambda)$. Omgekeerd kan men zeggen dat bij iedere waarde van de golflengte $\lambda_m$, gelegen tussen $\lambda_s$ en $\lambda_p$, een waarde van $P_m$ behoort. De gedaante van de functie $V(\lambda_m,\lambda)$, waarin $\lambda_m$ als parameter optreedt, is afhankelijk van $\lambda_m$. Voor een veld met spectrale verdeling $P'(\lambda)$ dat even helder schijnt te zijn als een veld dat $P_m$ (met golflengte $\lambda_m$) uitstraalt, geldt blijkens de ervaring [6]):

$$P_m = \int P'(\lambda)\ V(\lambda_m,\lambda)\ d\lambda.$$

Het verband tussen $\lambda_m$ en $P_m$ is reeds omstreeks 1890 door König onderzocht [7]). Men is er tot heden niet toe gekomen deze functie en de functies $V(\lambda_m,\lambda)$ internationaal te standaardiseren, omdat deze afhangen van de wijze waarop de waarneming wordt verricht. Weaver [8]) heeft in 1949 een serie tabellen voor de functies $V(\lambda_m,\lambda)$ gepubliceerd, die als basis voor berekeningen kunnen dienen. In 1951 is op het congres van de C.I.E. te Stockholm een functie $V_s(\lambda)$ vastgelegd [9]), geldig in het gebied der zeer kleine helderheden (en voor jeugdige waarnemers). In *fig. 2* geven wij het verband tussen $P_m$ en $\lambda_m$ volgens Weaver en in *fig. 3* de krommen $V_p(\lambda)$ en $V_s(\lambda)$ volgens de C.I.E. en volgens Weaver.

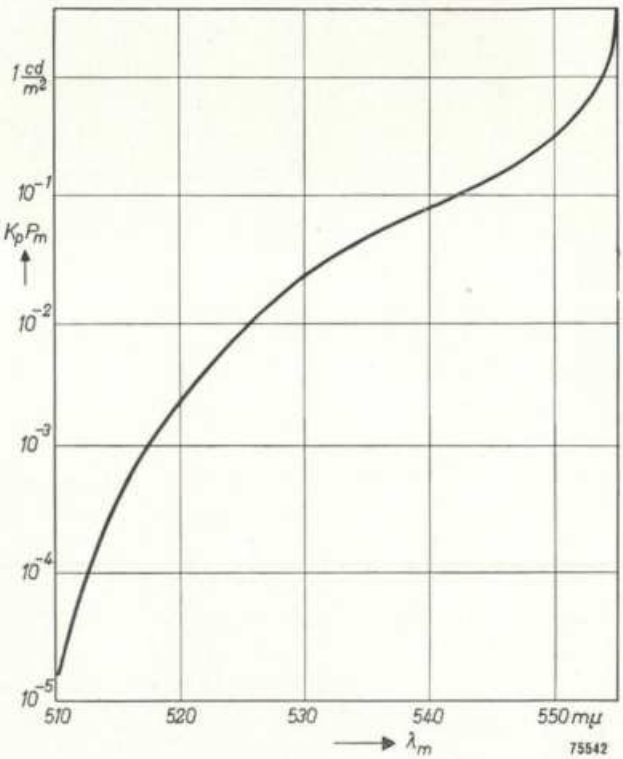



Fig. 2. $P_m$ als functie van $\lambda_m$, volgens Weaver. De grootheid $K_pP_m$ (uitgedrukt in cd/m²) is op logarithmische schaal uitgezet.

**Fotometrie bij kleine helderheden**

Wat is nu het gevolg van dit alles voor de fotometrie bij kleine helderheden? Gesteld dat wij in de fotometer twee velden bekijken die licht uitstralen met golflengten $\lambda_1$ resp. $\lambda_2$ en met zodanige vermogens $P_1$ resp. $P_2$, dat wij ons in het photopisch gebied bevinden en dat bovendien de luminanties gelijk zijn, dus:

$$K_pP_1V_p(\lambda_1) = K_pP_2V_p(\lambda_2).$$

---

[5]) Zie bijv. W. D. Wright, Researches on normal and defective colour vision, Kimpton, Londen 1946, pp. 73-87.

[6]) P. J. Bouma, Proc. Kon. Akad. Wet. Amsterdam **38**, 35-45, 148-161, 1935; id. Kleuren en kleurindrukken, Meulenhoff, Amsterdam 1946, H. II, § 14.
Zie ook W. de Groot, Appl. sci. Res. **132**, 131-148, 1951, en J. Vorobeitchik, Bull. Soc. Belge Electr. **68**, (1952), No. 2.

[7]) Zie bijv. P. J. Bouma, Philips techn. T. **1**, 142-146, 1936. P. G. Nutting, Bull. Bur. Stand. **7**, 235-238, 1911.

[8]) K. S. Weaver, J. Opt. Soc. Amer. **39**, 278-291, 1949. In het normblad N1224, uitgegeven door de Hoofdcomm. voor de Normalisatie, zijn functies $P_\lambda$ (in W/steradiaal·m²) in afhankelijkheid van $\nu = c/\lambda$ ($c$ = lichtsnelheid) voor luminanties tussen $3\cdot10^{-6}$ cd/m² en $2\cdot10^{5}$ cd/m² aangegeven.

[9]) Proc. C.I.E. (Stockholm 1951), part III, blz. 33-39. Ter wille van de overzichtelijkheid zijn in dit artikel de symbolen $K_p$, $K_s$, $V_p(\lambda)$, $V_s(\lambda)$ gebezigd in plaats van de door de C.I.E. in 1951 aangenomen symbolen $K_m$, $K'_m$, $V_\lambda$, $V'_\lambda$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



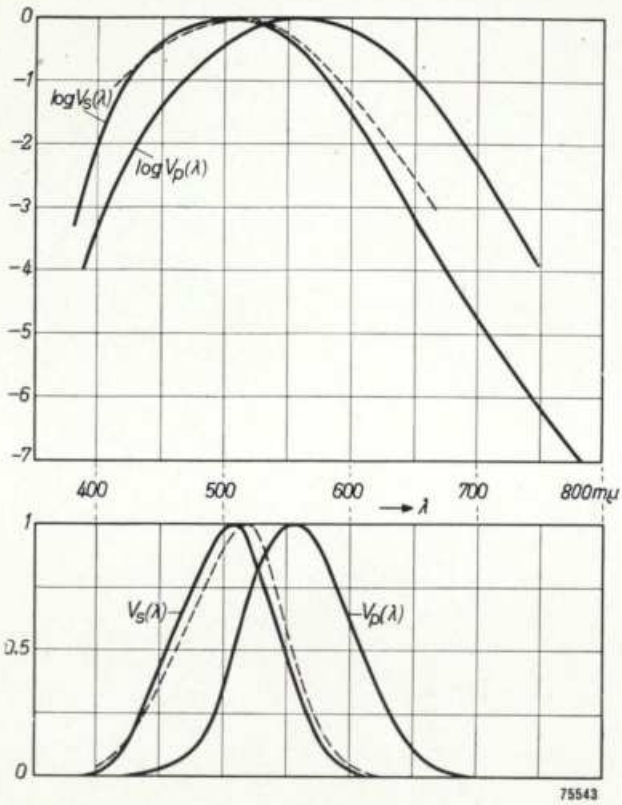



Fig. 3. De functies $V_p(\lambda)$ (C.I.E. 1924) en $V_s(\lambda)$ (C.I.E. 1951), boven op logarithmische schaal, beneden direct tegen $\lambda$ uitgezet. De stippellijn geeft $V_s(\lambda)$ volgens Weaver aan.

Indien wij nu beide vermogens bijv. door tussenschakelen van een neutraal filter zodanig vermenigvuldigen met eenzelfde factor ($<1$) dat wij niet meer in het photopische gebied zijn, dan zullen per definitie de beide fotometervelden nog wel gelijke luminanties hebben, maar zij zullen op het oog niet meer de indruk maken even helder te zijn. Omgekeerd zullen twee velden die wèl de indruk maken even helder te zijn, niet meer gelijke luminanties hebben, indien deze niet behoren tot het photopisch gebied.

In *fig. 4*, die reeds eerder in deze vorm door Bouma is gepubliceerd, zijn op logarithmische schaal de luminanties aangegeven van monochromatisch stralende velden die op het oog de indruk maken even helder te zijn. De desbetreffende punten zijn door een kromme lijn verbonden. Ieder der getekende krommen beantwoordt aan een bepaald helderheidsniveau. Bij elke kromme is de bijbehorende waarde van $K_pP_m$ en $\lambda_m$ aangegeven.

Als functie van $\lambda$ is uitgezet

$$\log [K_pP_\lambda V_p(\lambda)] = \log [K_pP_mV_p(\lambda)/V(\lambda_m,\lambda)].$$

In het photopische gebied is $\lambda_m = \lambda_p$, $V(\lambda_m,\lambda) \equiv V_p(\lambda)$ en dus de uitgezette grootheid constant, gelijk aan log $[K_pP_m]$. In het gebied der kleine helderheden is $\lambda_m < \lambda_p$ en $V_p(\lambda_m) < 1$, terwijl $V(\lambda_m,\lambda_m) \equiv 1$, zodat het punt beantwoordend aan log $[K_pP_m]$ boven de bijbehorende kromme ligt.

De punten van één kromme uit fig. 4 beantwoorden, zoals gezegd, aan fotometervelden die alle dezelfde schijnbare helderheid bezitten. Zou men in de fotometer twee velden vergelijken waarvan het ene beantwoordt aan een punt van de kromme en het andere aan een punt van een hogere kromme, dan zal het laatstbedoelde veld helderder schijnen dan het eerste. De krommen van fig. 4 beantwoorden, twee aan twee vergeleken, dus aan een reeks van toenemende schijnbare helderheid. De vraag is, of wij voor deze schijnbare helderheid een „maatdefinitie" kunnen invoeren. Nu behoort bij iedere kromme een waarde van $P_m$, en wel een hogere waarde naarmate de kromme hoger in het diagram gelegen is. Het ligt dus voor de hand de grootheid $P_m$ zelf, of $K_pP_m$, d.i. dus in wezen de luminantie van een even helder schijnend veld dat monochromatisch licht met de bij $P_m$ behorende golflengte $\lambda_m$ uitstraalt, als maat voor de schijnbare helderheid te gebruiken. Maar het is duidelijk dat een willekeurige

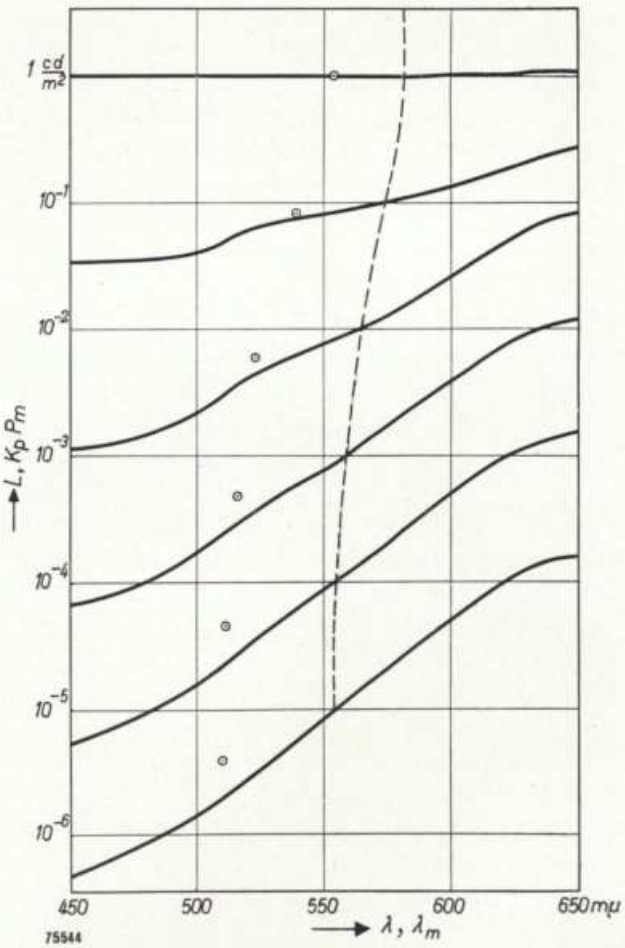



Fig. 4. Diagram volgens Bouma: lijnen van gelijke subjectieve helderheid voor monochromatische stralingen. Ordinaat is de luminantie in cd/m² (logarithmische schaal). In hetzelfde diagram zijn de bijbehorende waarden van $K_pP_m$ (zie fig. 2) tegen $\lambda_m$ uitgezet. De stippellijn verbindt die golflengten waarvoor de luminantie gelijk is aan die van een even helder schijnend vlakje met $T_k = 2042$ °K.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



monotone (dwz. met toenemende $P_m$ steeds toenemende) functie $f(P_m)$ evenzeer aan de behoefte voldoet [10]).

Bouma koos in navolging van König als maat voor hetgeen hij de „subjectieve helderheid" van een fotometerveld noemde: de luminantie van een even helder schijnend veld dat monochromatisch licht van de golflengte $\lambda = 535$ mμ uitzendt. Deze definitie is ondubbelzinnig, maar voor de fotometrische practijk minder goed geschikt, omdat een monochromatische lichtbron met licht van deze golflengte niet gemakkelijk te verwezenlijken is. Men is echter geenszins aan een monochromatische lichtbron gebonden, daar men immers binnen wijde grenzen vrij is in de keuze van de functie $f(P_m)$. Een definitie die wèl practische toepassing heeft gevonden, gebruikt als lichtbron een electrische gloeilamp met een kleurtemperatuur van 2360 °K, d.i. een lamp zoals in vele fotometers wordt toegepast. De subjectieve helderheid van een fotometerveld wordt nu gelijkgesteld aan de luminantie van een even helder schijnend veld dat licht uitstraalt met een spectrale verdeling gelijk aan die van een zwart lichaam met de genoemde temperatuur. Het voordeel van deze definitie is dat men nu subjectieve helderheden met een gewone fotometer kan meten. De kleurtemperatuur 2360 °K is natuurlijk vrij willekeurig en men zou kunnen pleiten voor een andere standaardlichtbron. Op het C.I.E.-congres in 1951 is deze zaak ter sprake gekomen en men is het erover eens geworden dat het, theoretisch althans, de voorkeur verdient, voor de meting van subjectieve helderheden dezelfde lichtbron te nemen die ook in het gebied der grote helderheden de lichtsterkte-eenheid (candela) bepaalt, dwz. het zwarte lichaam met een temperatuur van ca. 2042 °K.

In *fig. 5* is de luminantie van twee verschillende stralingen ($\lambda = 535$ mμ, $T_k = 2042$ °K) uitgezet tegen $P_m$ (beide op logarithmische schaal). Deze figuur toont dus de functie $f(P_m)$ voor de definitie van König-Bouma en voor de voorgestelde definitie van de C.I.E. Men ziet dat bij grote helderheden de functie in een evenredigheid overgaat, en dat bij de kleinste helderheden wederom evenredigheid bestaat tussen de subjectieve helderheid en $P_m$, echter in het algemeen met een andere evenredigheidsfactor, afhankelijk van de keuze van $f(P_m)$ [11]).

Dit laatste feit is aangenaam omdat men in de practijk vaak juist te maken zal hebben met het scotopische gebied, waarin deze evenredigheid geldt. In dit gebied wordt de subjectieve helderheid dan voorgesteld door

$$K_s \int P'(\lambda)\, V_s(\lambda)\, d\lambda.$$

Dit is dus een analoge formule als formule (2) voor de luminantie in het photopische gebied, alleen met $V_s(\lambda)$ in plaats van $V_p(\lambda)$ en met de factor $K_s$ in plaats van $K_p$. De waarde van $K_s$ hangt af van de keuze van de standaardlichtbron. Bij de keuze van de C.I.E. behoort, indien men voor $V_s(\lambda)$ de gestandaardiseerde waarden inzet, voor $K_s$ de waarde 1746 lm/W.

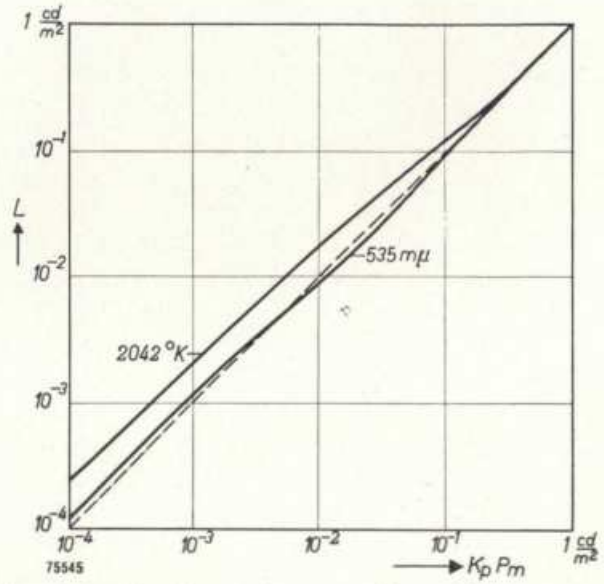



Fig. 5. Luminantie van fotometervelden verlicht met twee verschillende lichtbronnen ($\lambda = 535$ mμ, $T_k = 2042$ °K), uitgezet tegen $K_pP_m$ (beide op logarithmische schaal). Voor het scotopische gebied is $K_pP_m < 10^{-4}$ cd/m², voor het photopische gebied is $K_pP_m > 3$ cd/m².

Men kan zich afvragen of er niet een lichtbron te bedenken is waarvoor in het gehele gebied de subjectieve helderheid, op een constante factor na, gelijk is aan $P_m$, in welk geval de functie f door de stippellijn in fig. 5 zou worden voorgesteld. Deze vraag is door Bouma reeds gesteld en ontkennend beantwoord. Een bij zeer goede benadering rechte lijn zou men vinden indien men aan de definitie van f een lichtbron met kleurtemperatuur 7500 °K ten grondslag legde. Voor deze lichtbron zou dan $K_s = K_p$ zijn [12]). Een andere mogelijkheid om dit laatste te bereiken [13]), is dat men als lichtbron een monochromatische straling kiest waarvoor $V_s(\lambda) = V_p(\lambda)$, d.i. een straling met golflengte $\lambda = 528$ mμ. Daarbij krijgt men echter evenmin evenredigheid in het gehele gebied en de desbetreffende kromme wijkt in het middengebied nog sterker van de rechte lijn af dan die behorende bij $T = 7500$ °K.

## Het voorstel van de C.I.E.

De fotometrie bij kleine helderheden is nu door de keuze van de C.I.E. in theorie althans een zeer eenvoudige zaak geworden. Men verlicht het vergelijkingsveld in de fotometer met licht van de

[10]) P. J. Bouma, Physica **8**, 413-324, 1941.
[11]) Zie ook W. D. Wright, Photometry and the eye, Hatton, Londen 1949.
[12]) W. de Groot, zie noot [6]).
[13]) P. J. Bouma, zie noot [11]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



candela-lichtbron, dat door een draaiende sector of door een neutraal filter of met behulp van een diafragma is verzwakt, en regelt deze verzwakking zodanig dat het vergelijkingsveld even helder wordt gezien als het te meten veld. De uitkomst wordt, evenals bij de fotometrie bij grote helderheden, in cd/m² verkregen.

Een bezwaar schuilt nog in het reeds genoemde feit dat de gevoeligheidskromme van de parafovea verschilt van die van de fovea. In werkelijkheid is daarom de zaak niet zo eenvoudig, wegens het verschil in spectrale verdeling van de meeste practische lichtbronnen, vergeleken met die van het zwarte lichaam bij $T = 2042$ °K. Ook al wordt het kleurverschil bij parafoveale (of perifere) waarneming in het scotopische gebied niet opgemerkt, en stoort het in het middengebied ook nog weinig, zo zal men toch maatregelen moeten treffen opdat de fovea niet bij de waarneming is betrokken, of althans deze niet beïnvloedt [14]). Bovendien zal men daarom in de practijk voor de fotometerlamp een lichtbron kiezen waarvan de spectrale verdeling meer lijkt op die van de te onderzoeken lichtbron, dwz. die een hogere kleurtemperatuur heeft dan 2042 °K, bijv. 2360 °K of nog hoger, en dan door berekening of meting de luminantie van deze lichtbron herleiden tot de luminantie van een even helder veld met $T_k = 2042$ °K. In het scotopische gebied komt dit slechts neer op het bepalen van een correctiefactor.

Een vraag is nog, in welke eenheid men de subjectieve helderheid moet uitdrukken. Volgt men het voorstel van de C.I.E., dan krijgt men een uitkomst in cd/m². Het kan dan gebeuren dat men voor een lamp verschillende waarden van het aantal lm/W moet opgeven naar gelang de door de lamp veroorzaakte helderheid (men denke bijv. aan het gebied der straatverlichting) tot het photopische of tot het scotopische gebied behoort. Het is duidelijk dat de weglating van de term scotopisch hier misleidend zou kunnen werken, daar de verhouding $k_s$ (scotopisch) van lichtstroom en vermogen in het algemeen aanzienlijk zal verschillen van de overeenkomstige verhouding $k_p$ (photopisch) [15]). Men vindt namelijk, bij gegeven $P'(\lambda)$:

$$k_p = K_p \frac{\int P'(\lambda)\, V_p(\lambda)\, d\lambda}{\int P'(\lambda)\, d\lambda} \quad \frac{\text{lm(p)}}{\text{W}}$$

resp.

$$k_s = K_s \frac{\int P'(\lambda)\, V_s(\lambda)\, d\lambda}{\int P'(\lambda)\, d\lambda} \quad \frac{\text{lm(s)}}{\text{W}}.$$

Deze uitdrukkingen hebben alleen dan dezelfde waarde indien $P'(\lambda)$ overeenkomt met de spectrale verdeling van een zwarte straler met $T = 2042$ °K (hierop berust immers de berekening van $K_s$ uit $K_p$).

In *tabel I* is voor een aantal lichtbronnen de verhouding $k_s/k_p$ aangegeven. Uit de tabel blijkt dat voor lichtbronnen met een continu spectrum (gloeilampen) de factor $k_s/k_p$ niet groter is dan 2 à 2,5. Men mag aannemen dat dit ook geldt voor buisvormige fluorescentielampen („TL" lampen). Opvallend is echter dat voor monochromatisch licht in de uiteinden van het spectrum $k_s$ en $k_p$ meer dan een factor 10 kunnen uiteenlopen.

**Tabel I.** Verhouding van „specifieke lichtopbrengst" (lm/w) in het scotopische gebied ($k_s$) en in het photopische gebied ($k_p$), voor diverse lichtbronnen [16]).

| Monochromatisch licht | | Zwarte stralers | |
|---|---|---|---|
| $\lambda$(mμ) | $k_s/k_p$ | $T_k$(°K) | $k_s/k_p$ |
| 450 | 21 (30) | 2042 | **1,00** |
| 500 | 7 (7,7) | 2360 | 1,2 |
| 550 | 1,3 (1,2) | 2850 | 1,4 |
| 600 | 0,2 (0,13) | 5500 | 2,15 |
| 650 | 0,07 (0,02) | 7500 | 2,4 |
| natrium | 0,3 (0,23) | zonlicht | 2,0 |
| kwik | 1,1 | daglicht | 2,3 |

[14]) Een voorbeeld, waarbij dit wèl het geval was, is beschreven in Proc. C.I.E. 1951 (III), Gen. Paper D: A. M. Kruithof en W. de Groot, Photometry at very low brilliance levels.

[15]) De C.I.E. gebruikt voor de grootheden $k_p$, resp. $k_s$ de symbolen $K$, resp. $K'$.

[16]) De cijfers zijn berekend met de gegevens van Weaver, de cijfers tussen haakjes in de eerste kolom met de gegevens van de C.I.E. Het kwiklicht heeft de energetische samenstelling: $\lambda$405 mμ(12%), $\lambda$408 mμ(2%), $\lambda$436 mμ(22%), $\lambda$546 mμ(29%), $\lambda$578 mμ (35%).

**Samenvatting.** In de fotometrie abstraheert men zich van de variabiliteit van de helderheidsindruk doordat twee vlakjes met elkaar worden vergeleken die ongeveer gelijke helderheidsindrukken teweegbrengen. In het gebied der grote helderheden is een ooggevoeligheidskromme gestandaardiseerd (C.I.E. 1924), waarop het begrip luminantie is gebaseerd, met als eenheid de cd/m² of nit. Bij kleine helderheden (<3 cd/m²) beantwoordt aan gelijkheid van luminantie niet meer gelijkheid van schijnbare helderheid. In navolging van Bouma definieert men de „subjectieve helderheid" als de luminantie van een in de fotometer even helder schijnend vlakje, verlicht door een lichtbron met gespecificeerde spectrale verdeling. Bouma koos hiervoor monochromatisch licht met golflengte 535 mμ. Een andere keus is een lichtbron met kleurtemperatuur $T_k = 2360$ °K. In 1951 heeft de C.I.E. aanbevolen een lichtbron te kiezen met kleurtemperatuur 2042 °K (zwart lichaam bij stolpunt van platina, dat ook ten grondslag ligt aan de definitie van de candela). Tevens werd een ooggevoeligheidsfunctie gestandaardiseerd voor het gebied der kleinste helderheden (scotopisch gebied). Men kan nu ook in dit gebied de subjectieve helderheid in cd/m² uitdrukken en de eenheden lumen, lux enz. blijven gebruiken. Het verdient echter aanbeveling, ter vermijding van misverstanden, de eenheden in dit geval te kenmerken door de bijvoeging: scotopisch. Men kan voor de fotometrie in het scotopische gebied ook blijven gebruik maken van andere standaarden (bijv. $T_k = 2360$ °K, $T_k = 7500$ °K), maar men moet dan de gemeten luminanties, om deze te herleiden tot die van een even helder schijnend vlakje, verlicht met de candela-lichtbron, met een correctiefactor vermenigvuldigen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

**2024:** A. A. Kruithof: Specification of light sources by the spectral band method (C.I.E. Proceedings Stockholm 1951, Vol. 2, Gen. Paper V).

De door Bouma ingevoerde specificatie van lichtbronnen, door middel van de verdeling van het zichtbare spectrum in vakjes, werd kritisch bekeken. Voor een tiental pigmenten, verlicht met standaardlichtbron *A*, werd de verplaatsing **r** van het kleurpunt in de kleurendriehoek ten gevolge van een onderstelde toeneming ten bedrage van 10% van de aanwezige energie van de lichtbron in een 5 mμ wijde band rondom de golflengte $\lambda$, als functie van $\lambda$ berekend. De verhouding van **r** tot de radiusvector $\mathbf{r}_A$ van de desbetreffende McAdam-ellips (meetkundige plaats van de kleurpunten der juist onderscheidbare kleuren) werd tegen $\lambda$ uitgezet. Dezelfde berekening werd toegepast voor deze pigmenten, verlicht met standaardlichtbron *C*. Van de gevonden tien krommen werd de omhullende getekend en het oppervlak onder de aldus verkregen kromme werd in 7 of 8 ongeveer gelijke delen verdeeld.

Aldus werden de volgende vakjes verkregen:
380-445-485-525-560-595-625-750 mμ en
380-445-470-500-530-560-595-625-750 mμ.

Door een afzonderlijk onderzoek werd vastgesteld dat voor een vakje met grenzen 380 mμ en $x$ mμ de verplaatsing van de totale luminantie in dat vakje naar $\lambda$ = 436,8 mμ (violette kwiklijn) het kleurpunt het minste beïnvloedt als $x$=445 mμ. De beide gevonden reeksen van vakjes voldoen verder aan de voorwaarde dat de kwiklijnen 546 mμ en 578 mμ niet te dicht bij de grens van een vakje gelegen mogen zijn.

**2025:** B. Verkerk: A possible extension of the density-difference method of spectrographic analysis (J. Opt. Soc. Amer. **41**, 1017-1022, 1951, No. 12).

Onderzoek betreffende het gebruik van de „getransformeerde zwarting" volgens Seidel: $D_t = \log[(d_0/d)-1]$, waarin $d_0$ en $d$ de densitometeruitslagen zijn voor de onbelichte plaat, resp. de te meten spectrale lijn. Voor $D_t$ als functie van $\log E$ ($E$= belichting) wordt een empirische formule afgeleid. Met behulp hiervan worden condities afgeleid waaronder de fouten die ontstaan als men bij spectrografische metingen $D_t$ als een lineaire functie van $\log E$ beschouwt, te verwaarlozen zijn. Het blijkt dat dit onder zekere voorwaarden het geval is in een zwartingsgebied tussen 0,1 en 2. De invloed van de golflengte op de vorm van de getransformeerde zwartingskromme wordt nagegaan en de methode getoetst aan enkele voorbeelden.

**R 189:** J. M. Stevels: Some experiments and theories on the power factor of glasses as a function of their composition, III (Philips Res. Rep. **7**, 161-168, 1952, No. 3).

Aangetoond wordt dat de verliesfactor van borosilicaatglazen (gemeten voor ver uiteenlopende frequenties) minimaal is op de rechte lijn die, in het fazediagram, het accumulatiegebied scheidt van het destructiegebied. Hierdoor wordt bewezen dat op deze lijn de stevigheid van het atomaire netwerk maximaal is. Het minimum is des te minder geprononceerd naarmate de $SiO_2$-concentratie hoger is. Het verdwijnt bij de samenstelling 75% $SiO_2$, 20,5% $BO_3$, 4,5% $M_2O$ (M = Na of Li). Aan de experimentele resultaten wordt een theoretische beschouwing vastgeknoopt. Zie ook **R 127**, **R 158** en Philips techn. T. **13**, 277-387, 1951.

**R 190:** A. E. Pannenborg: On the scattering matrix of symmetrical waveguide functions, II (Philips Res. Rep. **7**, 169-188, 1952, No. 3).

Vervolg van **R 188**. Vele microgolfcircuits uit de practijk bezitten een zekere mate van structurele symmetrie. Naast de vergelijkingen van Maxwell vormt dit een belangrijk gegeven voor de specificatie van de eigenschappen van een circuit. Het aantal parameters vereist voor de volledige beschrijving van een symmetrisch circuit is steeds geringer dan het aantal nodig voor de beschrijving van een overeenkomstig niet-symmetrisch circuit. Een theorie voor de analyse van de invloed van structurele symmetrie op het aantal onafhankelijke parameters van de verstrooiingsmatrix is het eerst gegeven door Dicke. Onlangs heeft Kerns deze methode wiskundig streng gefundeerd met behulp van groepentheorie. In hoofdstuk III is een inleiding tot dit onderwerp gegeven. Als toepassing ervan worden in het vierde hoofdstuk circuits met vier toevoerleidingen besproken die tweevoudige vlakke symmetrie vertonen. Een speciaal geval doet zich voor bij systemen bestaande uit twee golfpijpen met rechthoekige doorsnede, waarvan de assen parallel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



lopen en die over hun gehele lengte een zijwand gemeenschappelijk hebben. De koppeling tussen de pijpen wordt teweeg gebracht door gaten of sleuven in deze gemeenschappelijke wand. De eigenschappen van circuits van deze aard, voor zover zij verliesvrij zijn, worden bepaald door slechts twee reële parameters.

**R 191:** J. A. Haringx: Instability of bellows subjected to internal pressure (Philips Res. Rep. **7**, 189-196, 1952, No. 3).

Zie No. **1998**.

**R 192:** Th. P. J. Botden: Transfer and transport of energy by resonance processes in luminescent solids, II (Philips Res. Rep. **7**, 197-235, 1952, No. 3).

Vervolg van **R 178:** Bespreking van een aantal gesensibiliseerde systemen. Van de vele verklaringen die in de loop van de tijd gegeven zijn van het verschijnsel der sensibilisatie, zijn slechts enkele niet in tegenspraak met de experimenten. Op grond van sommige van deze theorieën bijv. zou de verhouding van de quantumrendementen van de fluorescentie van activator en sensibilisator bij constante activatorconcentratie onafhankelijk moeten zijn van de concentratie van de sensibilisator. Dit nu is in tegenspraak met de resultaten door de schrijver verkregen bij de systemen $Ca_3(PO_4)_2$-Ce-Mn, $Sr_3(PO_4)_2$-Sn-Mn, $Ca_5P_3O_{12}F$-Sb-Mn, $Ca_2P_2O_7$-Sn-Mn en ook met de resultaten van Fröhlich betreffende $Mg_2P_2O_7$-Ce-Th-Mn. Een verklaring van deze experimenten kan worden gegeven op grond van de volgende onderstellingen: 1) De verdeling van activator- en sensibilisatoratomen in het rooster is willekeurig. 2) Er bestaat directe energieoverdracht, door quantummechanische resonantie tussen sensibilisator en activator, als het activatoratoom zich dicht bij een sensibilisatoratoom bevindt. 3) Als een aangeslagen sensibilisatoratoom geen activatoratomen in zijn naaste omgeving heeft, kan de energie door middel van resonantie worden getransporteerd naar een ander sensibilisatoratoom dat wel een activatoratoom naast zich heeft. Het aantal kationplaatsen dat tot de onmiddellijke omgeving van een sensibilisatoratoom gerekend mag worden, kan uit de experimenten worden afgeleid. Het mechanisme van overdracht en transport van energie wordt besproken aan de hand van de theorie van Mott en Seitz. Het blijkt dat men aldus het gedrag van de sensibilisatie als functie van de temperatuur kan verklaren.

---

**Verschenen zijn:**

E. Rodenhuis: Practische handleiding voor de toepassing van electronenbuizen in L.F. versterkers (Philips technische Bibliotheek, populaire reeks, Meulenhoff & Co., Amsterdam 1952, VII + 119 blz., 60 figuren).

Dit boekje is geschreven met het doel, de ervaringskennis van de lezer te vergroten en hem tot het experimenteren te stimuleren. Het behandelt daarom algemene inzichten in de versterkerbouw, het werken met buisgegevens, de functie van de verschillende trappen van de versterker, en het geeft tot slot een achttal versterkerontwerpen, die uitvoerig zijn behandeld en waarin men een menigte van practische gegevens, meetresultaten en aardige nieuwe snufjes zal vinden. De behandeling is geheel gericht op de practijk. Voor theoretische beschouwingen wordt verwezen naar de Philips Boekenreeks over electronenbuizen.

A. H. Bruinsma: Radiografische afstandsbediening, een amplitudemodulatie- en een impulsmodulatiesysteem (Philips technische Bibliotheek, populaire reeks, Meulenhoff & Co., Amsterdam 1952, VIII + 99 blz., 43 figuren, diverse foto's en karakteristieken).

De schrijver heeft er van afgezien een overzicht te geven van alle bestaande systemen van radiografische afstandsbediening en zich beperkt tot de behandeling van twee systemen, die aan de practijk zijn getoetst en algehele voldoening hebben gegeven. De eerste is de min of meer conventionele methode met amplitudemodulatie en meer in het bijzonder een systeem met twee onafhankelijke kanalen. Als vertegenwoordiger van een groep met vele mogelijkheden wordt een tweede systeem beschreven, dat op impulsmodulatie berust en waarbij door een 8-kanalensysteem acht informaties onafhankelijk van elkaar tegelijk over één draaggolf worden overgebracht. Ten slotte worden twee demonstratieboten beschreven, die met de beschreven systemen werden uitgerust. Een appendix bevat de gegevens betreffende de toegepaste buizen.

---

**Rectificatie.** In het artikel over de decimale telbuis (Philips techn. T. **14**, 1952, Nr. 12) vervange men op blz. 359, rechterkolom, regel 6, „de bundelplaat" door „het stuurrooster".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!